



TUGAS AKHIR - TM 141585

STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI *SQUARE DUCT* DAN *SQUARE ELBOW 90°* DENGAN VARIASI SUDUT BUKAAN *DAMPER*

EDUARD WAHYU RAMADHAN
NRP 2114 105 034

Dosen Pembimbing
Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT

PROGRAM SARJANA
LABORATORIUM MEKANIKA DAN MESIN-MESIN FLUIDA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016



FINAL PROJECT - TM 141585

EXPERIMENT INVESTIGATION OF FLOW THROUGH SQUARE DUCT AND SQUARE ELBOW 90° WITH ANGLE OF DAMPER OPENING VARIANT

EDUARD WAHYU RAMADHAN
NRP 2114 105 034

Supervisor
Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT

BACHELOR DEGREE PROGRAM
MACHINERY AND FLUID MECHANIC LABORATORY
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI *SQUARE DUCT* DAN *SQUARE ELBOW 90°* DENGAN VARIASI SUDUT BUKAAN *DAMPER*

TUGAS AKHIR

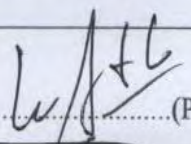
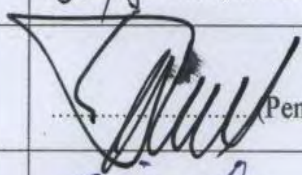
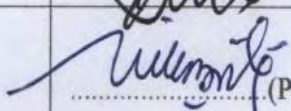
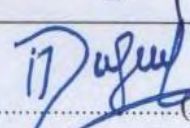
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Pada Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

EDUARD WAHYU RAMADHAN

NRP. 2114 105 034

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. <u>Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT</u> (NIP. 197104051997021001)	(Pembimbing)
2. <u>Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D</u> (NIP. 1964122819900031002)	(Penguji I)
3. <u>Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT</u> (NIP. 196202161995121001)	(Penguji II)
4. <u>Dedy Zulhidayat Noor, ST., MT., Ph.D</u> (NIP. 19751206200511002)	(Penguji III)



Gambar 2.19.	Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $\phi = 60^\circ$ ($z/Dh = 0.0$)	28
Gambar 2.20.	Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $x/Dh = 1.0$ and $z/Dh = 0.0$	29
Gambar 2.21.	Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi <i>inner</i> dan <i>outer wall elbow</i> hasil simulasi dan eksperimen	29
Gambar 3.1.	Skema instalasi penelitian	32
Gambar 3.2.	Sketsa <i>square ducting (pandangan atas)</i> ...	32
Gambar 3.3.	Model uji penelitian	33
Gambar 3.4.	<i>Centrifugal fan</i>	34
Gambar 3.5.	<i>Nozzle dan Honey Comb</i>	35
Gambar 3.6.	<i>Damper</i>	35
Gambar 3.7.	Posisi dan dimensi damper (pandangan atas)	36
Gambar 3.8.	Skema pemasangan <i>wall pressure tap</i> dan <i>pitot tube</i>	37
Gambar 3.9.	Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan	38
Gambar 3.10.	<i>Inclined Manometer</i>	39
Gambar 3.11.	Skema dan hasil validasi tekanan dinamis	45
Gambar 3.12.	Skema dan hasil validasi tekanan statis	46
Gambar 3.13.	Lokasi perhitungan untuk <i>pressure drop</i>	50
Gambar 3.14.	Lokasi perhitungan untuk <i>koefisien losses elbow 90°</i>	51
Gambar 3.15.	Lokasi perhitungan untuk <i>koefisien losses damper</i>	52
Gambar 3.16.	<i>Flowchart</i> penelitian	55
Gambar 4.1.	Grafik <i>velocity profile</i> (a) bidang horizontal sisi upstream straight channel (b) bidang vertikal sisi upstream straight channel	60
Gambar 4.2.	Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan	61
Gambar 4.3.	Distribusi profil kecepatan bidang	



	horizontal pada <i>downstream straight channel</i> tanpa damper dan sudut damper 0°	63
Gambar 4.4.	Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada <i>downstream straight channel</i> tanpa damper dan sudut damper 0°	63
Gambar 4.5.	Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada <i>downstream straight channel</i> tanpa damper dan sudut damper 10°	66
Gambar 4.6.	Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada <i>downstream straight channel</i> tanpa damper dan sudut damper 10°	66
Gambar 4.7.	Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada <i>downstream straight channel</i> tanpa damper dan sudut damper 20°	69
Gambar 4.8.	Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada <i>downstream straight channel</i> tanpa damper dan sudut damper 20°	69
Gambar 4.9.	Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada <i>downstream straight channel</i> tanpa damper dan sudut damper 30°	73
Gambar 4.10.	Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada <i>downstream straight channel</i> tanpa damper dan sudut damper 30°	73
Gambar 4.11.	Grafik <i>velocity profile</i> bidang horizontal pada masing-masing posisi <i>cross-section</i> berdasarkan test section : a) -2; b) -1; c) 1; d) 2; e) 3; f) 10 ;g) 13; h) 14	76
Gambar 4.12.	Grafik <i>velocity profile</i> bidang vertikal pada masing-masing posisi <i>cross-section</i> berdasarkan test section : a) -2; b) -1; c) 1; d) 2; e) 3; f) 10 ;g) 13; h) 14	80



Gambar 4.13.	<i>Pressure drop pada square duct dengan square elbow 90° dengan variasi Reynolds number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ dan variasi sudut bukaan damper 0°, 10°, 20° dan 30°</i>	82
Gambar 4.14.	<i>Koefisien losses elbow 90° pada square duct dengan square elbow 90° fungsi variasi sudut bukaan damper 0°, 10°, 20° dan 30° dengan variasi Reynolds number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$</i>	84
Gambar 4.15.	<i>Koefisien losses damper pada square duct dengan square elbow 90° fungsi variasi Reynolds number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ dengan variasi sudut bukaan damper 0°, 10°, 20° dan 30°</i>	86
Gambar 4.16.	<i>Koefisien losses damper pada square duct dengan square elbow 90° fungsi variasi sudut bukaan damper 0°, 10°, 20° dan 30° dengan variasi Reynolds number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$</i>	88



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam dunia industri saat ini yang terus berkembang banyak terdapat saluran udara yang dapat ditemukan. Saluran udara digunakan untuk mengalirkan fluida udara dari satu tempat ke tempat yang lain. Bentuk saluran tidak hanya lurus tetapi dapat juga berbelok-belok sesuai dengan kondisi lapangan dan kebutuhan lapangan yang digunakan. Pada kondisi saluran udara yang berbelok-belok tersebut terdapat beberapa komponen saluran diantaranya yaitu sambungan (*fitting*), *valve (damper)*, dan *elbow 90°*. Sambungan pada saluran udara digunakan untuk menyambungkan antara saluran satu dengan saluran yang lain. *Valve (damper)* digunakan untuk mengatur debit aliran udara didalam saluran sesuai dengan kebutuhan. *Elbow 90°* merupakan saluran yang berbentuk melengkung membentuk sudut 90° .

Aliran yang melintasi saluran udara *elbow 90°* mengalami *pressure drop* yang lebih besar daripada aliran yang melintasi saluran udara lurus dengan kecepatan *freestream* yang sama. Dengan adanya *pressure drop* yang cukup besar pada *elbow 90°* maka akan terjadi kerugian energi (*head loss*) yang lebih besar sehingga energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida semakin besar. Dengan meningkatnya *headloss*, daya yang dibutuhkan semakin besar pada instalasi saluran seperti kompresor dan blower. Pada saluran udara tertentu digunakan suatu gangguan yang digunakan untuk mengatur laju aliran massa yang dapat menambah kerugian energi (*head loss*). Faktor-faktor yang mempengaruhi *pressure drop* dalam *elbow 90°* diantaranya adalah jari-jari kelengkungan *elbow 90°*, gesekan (*friction loss*) antara aliran fluida dengan dinding dalam saluran, separasi yang terjadi dalam *elbow 90°* baik separasi 2D (*separation loss*) maupun 3D (*secondary flow*). Kerugian energi (*head loss*) paling besar didalam *elbow 90°* disebabkan karena *friction loss* dan separasi. Separasi aliran terjadi karena momentum aliran tidak



mampu lagi melawan kenaikan gradien tekanan (*adverse pressure gradient*), sehingga aliran akan terseparasi dan berbalik arah (*back flow*) dari aliran utama. *Secondary flow* disebabkan karena perbedaan distribusi tekanan sisi *inner* dan *outer wall elbow 90°*. Perbedaan tekanan ini dapat dilihat pada distribusi tekanan sisi *outer wall* lebih besar dibanding sisi *inner wall*, sehingga mengakibatkan partikel fluida *outer wall* bergerak menuju *inner wall*. *Inner wall* adalah sisi dari pada *elbow 90°* yang memiliki radius yang kecil sedangkan *outer wall* adalah sisi dari pada *elbow 90°* yang memiliki yang besar. *Secondary flow* pada *rectangular elbow 90°* juga terjadi pada sisi *corner* yang disebabkan oleh interaksi *boundary layer* dan *endwall* yang mengakibatkan penyumbatan aliran (*blockage effect*) dan mengurangi *effective flow area*. Salah satu usaha untuk mengurangi *pressure drop* yang terjadi pada *elbow 90°* adalah dengan menambahkan suatu gangguan yang mungkin dapat menambah kerugian energi, artinya diperlukan energi yang besar untuk menanggulangi setiap kerugian yang terjadi di sepanjang instalasi. *Damper* akan mengurangi terjadinya turbulensi aliran setelah melalui *elbow 90°*. *Pressure drop* yang terjadi pada suatu asesoris tambahan suatu instalasi akan berpengaruh pada aliran di dalamnya sehingga akan memberikan nilai koefisien tertentu sesuai sudut bukaan.

Beberapa penelitian terdahulu mengenai aliran yang melalui saluran dengan damper sebagai bodi pengganggu sudah dilakukan diantaranya **Danbon dan Sollicc (2000)** melakukan eksperimen pada pipa lurus yang diganggu oleh *butterfly valve*. Pipa tersebut memiliki diameter 0,3 m dan panjang 11D. Pengambilan data dilakukan pada bilangan Reynolds yang bervariasi rentangnya $5.0 \times 10^4 < Re < 10^6$, dilakukan dengan tambahan *elbow 90°* dan *butterfly valve* yang di-*setting* kemiringan 0° (*fully open*) dan 30°. Hasil yang didapat melalui grafik profil kecepatan pada pipa lurus yang terdapat *valve* bahwa aliran akan mencapai *fully developed* lebih awal dari pada pipa lurus yang ditambahkan *elbow 90°*, hal ini disebabkan karena



pada *elbow 90°* tersebut sudah terjadi aliran sekunder sebelum melalui *damper*.

Edo (2016) telah melakukan studi numerik mengenai fenomena aliran yang melewati suatu saluran berpenampang *rectangular* yang diletakkan *damper* sebagai bodi pengganggu didalamnya dan pengaruh variasi sudut kemiringan bodi pengganggu dan bilangan *Reynolds* terhadap karakteristik aliran. Penelitian dilakukan secara numerik 3D menggunakan piranti lunak *Computation Fluid Dynamics* (CFD) komersial dengan model *turbulensi k-ε Realizable*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan model uji berupa *rectangular ducting* yang pada bagian inlet terpasang *elbow 90°* dengan *damper* yang diletakkan pada jarak $x/D_h=2$. Fluida kerjanya adalah udara yang mengalir secara *incompressible*, *viscous*, *steady* dan mempunyai profil kecepatan *uniform* pada sisi *inlet* dengan dua variasi bilangan *Reynolds* yaitu 2.05×10^5 dan 8.2×10^5 serta empat pengaturan sudut bodi pengganggu 0° , 10° , 20° dan 30° . Hasil yang didapatkan pada studi numerik adalah adanya perlambatan aliran di daerah yang menghubungkan *upstream* dan *downstream* sesaat sebelum melalui *damper* untuk semua variasi sudut, hal ini disebabkan adanya *blockage effect* akibat terbentuknya aliran sekunder pada sisi *inner wall* dekat dinding, daerah ini memiliki momentum yang rendah, tidak ada pengaruh yang signifikan pada variasi kecepatan terhadap proses *recovery* aliran, melainkan proses *recovery* aliran sangat dipengaruhi variasi sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° , 30° . Pembentukan aliran sekunder pada sudut bukaan *damper* 0° hanya terjadi pada sisi *inner wall*, sedangkan pada sudut bukaan *damper* 30° aliran sekunder terbentuk pada sisi *inner* maupun *outer wall*. Pada variasi sudut bukaan *damper* 0° memiliki variasi *range* kecepatan yang paling rendah, sedangkan sudut bukaan *damper* 30° memiliki variasi *range* kecepatan yang paling tinggi, hal ini disebabkan penyempitan luas penampang di daerah sekitar *damper*, dimana di daerah tersebut terjadi percepatan aliran dan sudut bukaan *damper* 30° merupakan sudut yang paling efektif untuk mempercepat proses *recovery* aliran dan



menanggulangi timbulnya aliran sekunder yang terletak di dekat dinding.

1.2. Rumusan Masalah

Aliran fluida yang mengalir pada saluran sempit selalu mengalami *pressure drop* yang disebabkan oleh *friction* yang dipengaruhi oleh material saluran udara, juga dipengaruhi oleh fenomena aliran lain yang timbul akibat perbedaan tekanan, separasi aliran, dan aliran sekunder. Pada aliran yang melewati suatu gangguan, maka akan terjadi perubahan profil kecepatan tegak lurus damper (*horizontal cross section*), perubahan profil kecepatan sejajar damper (*vertikal cross section*), *pressure drop* yang terjadi dan *koefisien losses damper* pada saluran. Untuk mengamati hal tersebut maka dirumuskanlah :

1. Bagaimana *pressure loss* sepanjang saluran udara, *koefisien loss minor elbow 90°* dan *koefisien loss minor volume damper* ?
2. Bagaimana profil kecepatan pada *upstream* dan *downstream duct* (posisi bidang *horizontal* dan *vertikal*) ?

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah sehingga pembahasan dalam penelitian ini lebih bisa terfokus. Batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut : Studi eksperimen aliran melalui saluran udara rectangular yang tersusun atas *upstream straight channel*, *elbow 90°*, dan *downstream straight channel* yang dipasang sebuah *damper*.

1. Fluida kerja adalah udara dengan profil kecepatan udara *uniform* pada sisi *inlet upstream*, sifat *incompressible*, *viscous* dan *steady*.
 2. Perpindahan panas akibat gesekan antara udara dengan dinding saluran dapat diabaikan.
 3. Kekasaran dinding diabaikan.
 4. Aliran yang melintasi saluran udara memiliki region aliran turbulen ($Re_{Dh} > 4000$).
 5. Temperatur fluida didalam udara diasumsikan konstan.
-



1.4. Tujuan Penelitian

Studi eksperimental dilakukan untuk menganalisa karakteristik aliran melalui saluran udara berpenampang bujur sangkar (*square duct*), dengan tiga komponen penting, yaitu *straight duct* (*upstream* dan *downstream duct*), *elbow 90°* ($R_m/D_h=1,5$) dan *volume damper*. Adapun variasi sudut bukaan volume damper menjadi fokus penelitian yang digunakan untuk menganalisa karakteristik aliran sepanjang *downstream straight channel*. Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui *pressure loss* sepanjang saluran udara, koefisien *loss minor elbow 90°* dan koefisien *loss minor volume damper*.
2. Mengetahui profil kecepatan pada *upstream* dan *downstream duct* (posisi bidang *horizontal* dan *vertikal*).

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapat setelah melakukan penelitian ini sebagai berikut :

1. Memberikan gambaran tentang fenomena aliran yang melewati suatu saluran berpenampang *square* yang diletakkan *damper* pada saluran *downstream straight channel*, yaitu : perubahan profil kecepatan tegak lurus damper (*horizontal cross section*) dan damper (*vertikal cross section*), *pressure drop*, koefisien *losses elbow 90°* dan koefisien *losses damper*.
2. Memberikan penjelasan tentang pengaruh variasi sudut pembukaan *damper* terhadap karakteristik aliran sepanjang *downstream straight channel*.



Halaman ini sengaja dikosongkan



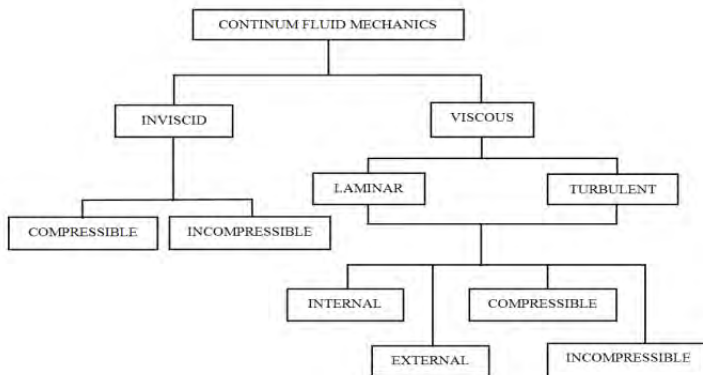
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang berhubungan dengan penelitian ini yang mendukung. Teori ini digunakan sebagai landasan untuk menganalisis dalam penelitian ini.

2.1 Jenis Aliran *Fluida*

Karena sulitnya menganalisa partikel cairan secara mikroskopis, maka dilakukan pendekatan secara makroskopis dengan anggapan sudah cukup memadai, ini berarti kita harus mengansumsikan *fluida* yang “*continum*”, sebagai konsekuensinya bahwa seluruh *properties fluida* merupakan suatu fungsi dari kedudukan dan waktu.



Gambar 2.1. Klasifikasi jenis fluida (Fox dan Mc. Donald, 1998)

2.2 Sifat-sifat Fluida

2.2.1 Densitas

Udara adalah fluida yang memiliki *densitas* dan *viskositas*. *Densitas* (ρ) didefinisikan sebagai massa persatuan *volume*. Properti ini tergantung pada tekanan (P) dan temperatur (T). *Densitas* dapat dinyatakan dalam tiga bentuk, yaitu:



1) Densitas Massa

Merupakan perbandingan jumlah massa dengan jumlah volume. Densitas massa dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Dimana :
 m = massa (kg)
 V = volume (m³)
 ρ = massa jenis (kg/m³)

Harga standarnya pada tekanan $p = 1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ dengan temperatur 288,15 K sehingga densitas udara 1,23 kg/m³ dan untuk air adalah 1000 kg/m³.

2) Berat Spesifik

Didefinisikan sebagai densitas massa dikalikan dengan gravitasi dan dapat dirumuskan dengan :

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (\text{N/m}^3) \quad (2.2)$$

Untuk ($\gamma_{\text{udara}} = 12,07 \text{ N/m}^3$) dan ($\gamma_{\text{air}} = 9,81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$).

3) Densitas Relatif (Specific Gravity)

Specific gravity (SG) yaitu perbandingan antara berat spesifik suatu zat dengan berat spesifik air pada temperatur 4°C. Densitas relatif tidak memiliki satuan.

$$SG = \frac{\gamma_{\text{fluida}}}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (2.3)$$

2.2.2 Viskositas

Viskositas disebabkan oleh gesekan molekuler antara partikel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum karena *gradient* kecepatan. Untuk fluida *incompressible*, properti ini bergantung pada temperatur. Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk yaitu:



1) Viskositas Dinamis (μ)

Merupakan perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya viskositas air bervariasi dan dipengaruhi oleh temperatur. Pada kondisi standar ($T_{\text{kamar}} 26,5^\circ\text{C}$) besar viskositas dinamik adalah $\mu_{\text{air}} = 8,6 \times 10^{-4} \text{ N s/m}^2$ dan $\mu_{\text{udara}} = 1,7894 \times 10^{-5} \text{ N s/m}^2$.

2) Viskositas Kinematik (ν)

Merupakan perbandingan viskositas dinamik (μ) terhadap kerapatan densitas (ρ) :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.4)$$

Untuk ν_{air} pada temperatur $26,5^\circ\text{C}$ ialah $8,6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ dan $\nu_{\text{udara}} 1,4607 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

2.3 Aliran Viscous

Aliran *viscous* adalah jenis aliran fluida yang memiliki kekentalan atau viscous ($\mu > 0$). Viskositas fluida sangat berpengaruh saat fluida mengalir di suatu plat datar ataupun pipa yang dapat menghasilkan tegangan geser di dinding saluran tersebut.

2.4 Aliran Laminar dan Turbulen

Aliran suatu *fluida* dibedakan menjadi dua tipe, yaitu aliran *laminar* dan aliran *turbulen*. Aliran dikatakan *laminar* apabila partikel-partikel *fluida* yang bergerak secara teratur mengikuti lintasan yang sejajar pipa dan bergerak dengan kecepatan yang sama. Aliran ini terjadi bila kecepatan kecil dan kekentalan yang besar. Sedangkan aliran disebut *turbulen* apabila tiap partikel *fluida* bergerak mengikuti lintasan sembarang di sepanjang pipa dan hanya gerakan rata-rata saja yang mengikuti sumbu pipa. Aliran ini terjadi apabila kecepatan besar dan kekentalan *fluida* yang kecil.



Kekentalan (*viskositas*) berpengaruh besar sehingga dapat meredam gangguan yang mengakibatkan aliran menjadi *turbulen*. Dengan berkurangnya kekentalan dan bertambahnya kecepatan aliran maka daya redam terhadap gangguan akan berkurang yang sampai pada batas tertentu akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran dari *Laminar* menjadi *Turbulen*.

Kondisi aliran *laminar* atau *turbulent* dapat dinyatakan dengan bilangan *Reynolds* untuk aliran *incompressible*. Jenis lapis batas yang terjadi pada aliran udara yang mengalir suatu obyek juga sangat ditentukan oleh bilangan *Reynolds* (*Re*). Hal ini dapat dijelaskan bahwa dalam lapis batas gaya geser dan gaya inersia sangat penting, sementara bilangan *reynolds* sendiri menggambarkan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya geser.

$$Re = \frac{\text{Gaya inertia}}{\text{Gaya geser}} \quad (2.5)$$

dimana : Gaya Inersia $= p \times A = \rho \cdot U_{\infty}^2 \cdot L^2$

$$\text{Gaya Geser} = \tau \times A = \left(\frac{\mu \cdot U_{\infty}}{L} \right) \cdot L^2$$

Sehingga untuk aliran internal diameter hidrolis (D_h) digunakan untuk perhitungan saluran tak bundar. Diameter hidrolis dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P} \quad (2.6)$$

dimana : A = Luas penampang
 P = keliling penampang

sehingga, $Re_{Dh} = \frac{\rho \cdot U_{ref} \cdot D_h}{\mu} \quad (2.7)$

dimana : Re = bilangan *Reynold*
 U_{ref} = kecepatan aliran *fluida* (m/s)
 D_h = diameter dalam saluran (m)



jika : μ = viskositas kinematis fluida (Nm/s^2)
 $\text{Re} \leq 2300$, aliran bersifat *laminar*
 $2300 \leq \text{Re} \leq 4000$, aliran bersifat *transisi*
 $\text{Re} \geq 4000$, aliran bersifat *turbulen*

Aliran *transisi* merupakan dimana aliran dapat bersifat *laminar* atau *turbulen* tergantung dari kondisi pipa dan aliran.

2.5 Persamaan Euler Dalam Koordinat *Streamline*

Untuk menggambarkan aliran fluida di sepanjang *streamline* pada kondisi *steady flow*, maka setiap partikel fluida berurutan yang melewati sebuah titik tertentu akan mengikuti lintasan yang sama. *Streamline* itu sendiri adalah sembarang garis yang dilukiskan dalam medan aliran, dimana garis singgung pada setiap titik dalam garis tersebut menyatakan arah kecepatan aliran. Karena setiap kecepatan aliran hanya menyinggung *streamlines*, maka ini berarti tidak ada aliran yang memotong maupun melintasi *streamline*. Persamaan gerakannya dinyatakan dalam koordinat *streamline* yang dibangun dari persamaan Euler, untuk *inviscid flow*, dinyatakan pada persamaan 2.8.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla p \quad (2.8)$$

Gambar 2.2. Gerakan partikel fluida di sepanjang streamline
(Fox dan Mc. Donald, 1998)

Gerakan partikel fluida di dalam medan aliran diilustrasikan pada gambar 2.2 Dengan mengabaikan efek ketinggian dan *steady flow*, maka persamaan gerak di sepanjang *streamline* dinyatakan sebagai:



$$-\frac{1}{\rho} \frac{\delta p}{\delta s} - g \frac{\delta z}{\delta s} = \frac{\delta V}{\delta t} + V \frac{\delta V}{\delta s} \quad (2.9)$$

karena steady flow dan gaya body diabaikan maka persamaanya menjadi

$$\frac{1}{\rho} \frac{\delta p}{\delta s} = -V \frac{\delta V}{\delta s} \quad (2.10)$$

Persamaan di atas kita dapat mengetahui hubungan antara tekanan dan kecepatan dari sebuah partikel fluida di dalam medan aliran, dimana besarnya tekanan berbanding terbalik dengan kecepatan. Hal ini memenuhi hukum kekekalan energi, bahwasanya jika aliran diasumsikan tanpa gesekan maka penjumlahan komponen tekanan dan kecepatan pada setiap titik adalah sama. Sedangkan persamaan gerak *streamline* pada arah normal dinyatakan sebagai :

$$\frac{1}{\delta} \frac{\delta p}{\delta n} + g \frac{\delta z}{\delta n} = \frac{V^2}{R} \quad (2.11)$$

karena steady flow di bidang horizontal maka persamaan menjadi

$$\frac{1}{\delta} \frac{\delta p}{\delta n} = \frac{V^2}{R} \quad (2.12)$$

Persamaan di atas menyatakan bahwa perubahan tekanan di sepanjang normal *streamline* akan terjadi jika terdapat perubahan radius kelengkungan. Semakin besar radius kelengkungan maka tekanan yang terjadi juga semakin besar. Perbedaan tekanan ini digunakan untuk mengimbangi gaya sentrifugal. Namun jika streamlinenya lurus ($R \approx \infty$) maka tidak ada perubahan tekanan pada normal *streamline*. Oleh karena itu aliran di dalam pipa lurus, tekanan pada sisi normalnya konstan.

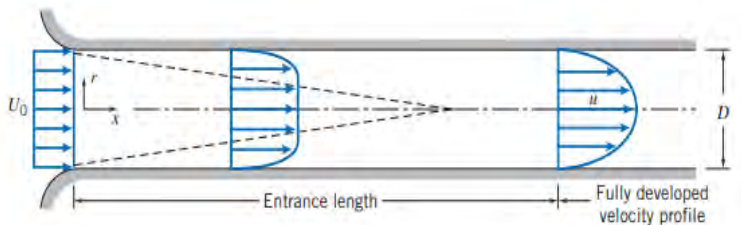


2.6 Aliran Didalam Saluran

Pada sistem *ducting elbow* merupakan bagian yang menyebabkan terjadinya *pressure drop* yang cukup besar. Hal tersebut dikarenakan adanya perubahan arah aliran fluida yang dapat menyebabkan terjadinya aliran separasi dan *secondary flow*.

2.6.1 Fenomena Aliran di dalam saluran

Aliran *internal* adalah aliran dimana fluida yang mengalir yang dibatasi oleh suatu batasan atau *boundary* berupa benda *solid*, seperti aliran yang berada di dalam pipa.



Gambar 2.3. Profil kecepatan aliran memasuki saluran (Fox dan Mc. Donald, 1998)

Aliran yang masuk pada pipa adalah aliran *uniform* dengan kecepatan U_0 . Karena aliran merupakan aliran *viscous*, maka pada dindingnya terjadi lapisan batas (*boundary layer*). Aliran *viscous* yang ada di dalam *boundary layer* tersebut pengaruh viskositasnya relatif besar, sehingga profil kecepatannya tidak *uniform* lagi seperti pada gambar 2.3.

Perubahan profil kecepatan dalam aliran ini memiliki batas tertentu. Apabila *boundary layer* tersebut bertemu pada satu titik, maka profil kecepatannya akan tetap. Aliran yang telah berkembang penuh ini dinamakan aliran *fully developed*. Jarak dari saat mula-mula aliran masuk sampai menjadi *fully developed* disebut dengan *Entrance Length*. Kecepatan aliran rata-rata yang terjadi adalah : \bar{V} ini tentunya harus bernilai sama dengan U_0 . Jadi, nilai $\bar{V} = U_0 = \text{konstan}$. Panjang *entrance length* (L) untuk aliran *laminar* merupakan fungsi bilangan *reynold* :



$$\frac{L}{D} \cong 0,06 \frac{\rho \bar{V} \cdot D}{\mu} \quad (2.13)$$

dimana : $\bar{V} = \frac{Q}{A}$ adalah kecepatan rata-rata.

$$\text{karena laju aliran (flow rate) : } Q = A \bar{V} = A U_0 \quad (2.14)$$

dimana $\bar{V} = U_0$

untuk aliran *laminar* dalam pipa $Re < 2300$, maka *extrance length* (L) didapat:

$$L \cong 0,06 Re \cdot D \leq (0,06)(2300)D = 138D \quad (2.15)$$

Sedangkan untuk aliran *turbulen*, karena *boundary layer* muncul lebih cepat maka panjang *extrance length* akan menjadi lebih pendek yaitu ± 25 sampai 40 kali diameter pipa.

2.6.2 Mekanisme Terjadinya Aliran Separasi

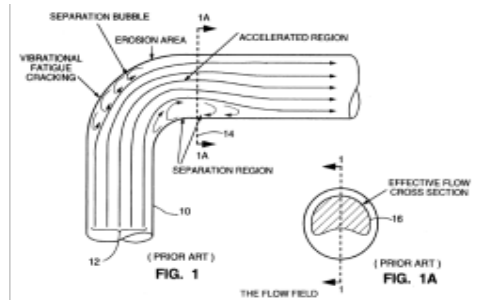
Separasi aliran didalam *rectangular elbow* disebabkan karena terbentuknya *adverse pressure gradient* (APG) atau kenaikan tekanan pada dinding *elbow* baik *inner wall* maupun *outer wall*. Proses terjadinya separasi berawal dari aliran yang melintasi *rectangular elbow* 90° melawan gaya gesek pada dinding *elbow* ditambah dengan adanya kenaikan tekanan (*adverse pressure gradient*). Kenaikan tekanan pada sisi *outer wall elbow* diakibatkan oleh radius kelengkungan *elbow*. Semakin besar radius kelengkungan *elbow* maka kenaikan tekanan akan semakin besar. Gesekan antara dinding *elbow* dan partikel fluida dapat mengurangi momentum aliran ketika melintas di sepanjang *elbow* dikarenakan fluida yang mengalir harus melawan tegangan geser, sehingga ketika melewati *adverse pressure gradient* (APG) aliran akan terseparasi (*separation loss*).

Sedangkan separasi aliran pada *inner wall* disebabkan oleh gaya inersia yang terjadi. Hal ini akan terbentuk *adverse pressure gradient* (APG) pada *inner wall* yang mengakibatkan aliran akan terseparasi. Akibat separasi aliran akan berbalik arah dari aliran utamanya (*backflow*). Karena aliran ini mempunyai momentum yang rendah, maka aliran ini akan terjebak dan terbentuklah



vortex flow pada sisi *corner elbow*. *Vortex* merupakan aliran yang terjebak dan berputar-putar diantara aliran utama dan dapat mengurangi energi aliran sehingga memberikan pengaruh terhadap timbulnya *pressure drop*. *Vortex* pada *rectangular elbow 90°* terjadi akibat adanya interaksi *boundary layer* dan *endwall* yang berkembang pada dinding. Terjadinya separasi aliran pada sisi *inner* dan *outer wall* serta *vortex* pada sisi *corner* akan menimbulkan *blockage effect* dan menyebabkan luas penampang aliran utama (*effectiveness flow area*) pipa akan mengecil. Timbulnya *blockage effect*, *secondary flow* pada *corner* dan *surface roughness* merupakan penyebab terjadinya *pressure drop* pada aliran.

Penelitian tentang separasi aliran di dalam *elbow* pernah dilakukan oleh **Cheng (1994)** dengan menginjeksikan cairan berwarna pada pipa transparan untuk memperoleh ilustrasi streamline di dalam elbow. Kemudian diambil gambarnya menggunakan *movie picture* seperti yang terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Separasi aliran pada *curved pipe* (Cheng,1994)

Pada gambar 2.4 terlihat bahwa terjadi separasi aliran di sisi *inner wall* maupun *outer wall elbow*. Pada *outer wall* terjadi kenaikan tekanan APG didekat upstream elbow yang menyebabkan aliran terseparasi (*separation loss*). Begitu juga pada sisi *inner wall*, terjadi kenaikan tekanan (APG) di dekat

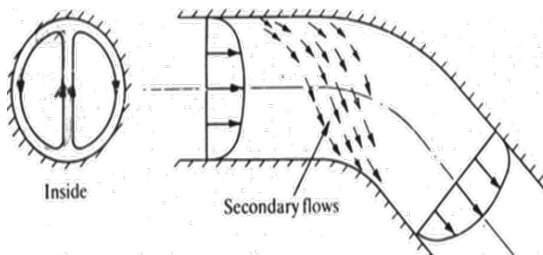


downstream elbow. Separasi aliran yang terjadi pada sisi *inner wall* dan *outer wall* ini membuat *effective flow area* berkurang.

2.6.3 Mekanisme Terjadinya Aliran Sekunder Di Dalam Elbow

Terbentuknya aliran sekunder pada *elbow* disebabkan oleh adanya perbedaan distribusi energi pada sisi *inner* dan *outer wall*. Perbedaan ini terjadi akibat adanya beda tekanan pada sisi dalam dengan sisi luar. Semakin ke sisi luar maka tekanan statisnya semakin besar. Oleh karena itu tekanan pada sisi *outer wall* lebih besar daripada sisi *inner wall*. Hal ini sesuai dengan persamaan Euler pada koordinat normal *streamline* yang menyatakan bahwa semakin besar radius kelengkungan maka tekanan yang terjadi semakin besar.

Aliran sekunder pada saluran *circular elbow 90°* terjadi ketika aliran mulai memasuki *elbow*. Hal ini dikarenakan energi pada *outer wall* lebih besar dari pada *inner wall*, sehingga aliran tidak hanya bergerak searah aliran utama saja karena adanya kecepatan, tetapi juga bergerak secara tangensial menuju *inner*. Pada belokan pipa *secondary flow* di dalam *elbow* terlihat jelas pada sisi *cross section*nya (gambar 25).



Gambar 2.5 *Secondary flow* (Miller, 1990)

Miller (1990) melakukan penelitian tentang aliran melintasi *elbow* yaitu apabila aliran melintasi saluran melengkung pasti aliran mengalami gaya sentrifugal baik pada sisi *inner wall* maupun *outer wall*.



2.7 Aliran Inkompresibel

Aliran Inkompresibel adalah aliran yang melewati suatu benda padat dan apabila terjadi perubahan temperatur yang dapat berpengaruh pada density atau massa jenis (ρ), hal ini dapat diabaikan karena perubahan density tidak secara signifikan. contoh adalah fluida cair ($\rho_1 = \rho_2$). Untuk dapat membedakan jenis aliran compressible atau incompressible tersebut, dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan bilangan Mach (M) .

$$M = \frac{\bar{v}}{c} \quad (2.16)$$

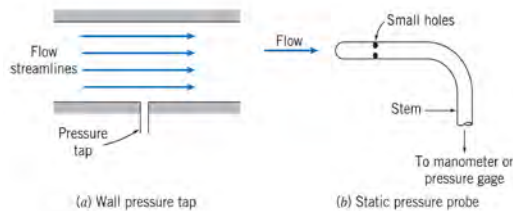
dimana : M = bilangan Mach
 \bar{v} = Kecepatan rata-rata aliran
 c = Kecepatan rambat bunyi lokal

Sehingga untuk mach number < 0.3 adalah aliran *incompressible* sedangkan untuk mach number $> 0,3$ adalah aliran *compressible*.

2.8 Tekanan Statis, Stagnasi, dan Dinamis

Tekanan (P) yang digunakan pada persamaan *Bernoulli* adalah tekanan termodinamik atau lebih dikenal dengan tekanan statis. Tekanan statis adalah tekanan yang diukur oleh alat ukur yang bergerak bersama-sama aliran dengan kecepatan yang sama.

Fluida yang mengalir lurus akan mempunyai *streamlines* lurus pula dan tidak mempunyai variasi tekanan ke arah normal dari aliran *streamlines* tersebut. Kenyataan ini memungkinkan untuk melakukan pengukuran tekanan statis dengan menggunakan *wall pressure tap* yang ditempatkan di daerah dimana aliran *streamlines* lurus.



Gambar 2.6. Pengukuran Tekanan *Statis* (Fox dan Mc. Donald, 1998)

Pressure tap adalah sebuah lubang kecil yang dibuat pada dinding dimana axisnya tegak lurus terhadap permukaan dinding. Apabila lubang tersebut tegak lurus terhadap dinding suatu saluran dan bebas dari kotoran, akurasi pengukuran tekanan statis akan dapat diperoleh dengan menghubungkan *pressure tap* dengan suatu alat ukur yang sesuai. Apabila fluida mengalir jauh dari dinding, atau bila *streamlines*-nya berbentuk kurva, akurasi pengukuran tekanan statis dapat diperoleh dengan menggunakan *pressure probe*, seperti yang terlihat pada gambar 2.6. Tekanan stagnasi adalah tekanan yang dapat diukur bila aliran diperlambat sampai kecepatannya sama dengan nol dengan proses tanpa gesekan. Pada aliran *incompressible*, persamaan *Bernoulli* dapat digunakan sehubungan dengan perubahan kecepatan dan tekanan sepanjang *streamlines*. Dengan mengabaikan diferensial elevasi, persamaan *Bernoulli* menjadi :

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{konstan} \quad (2.17)$$

Bila tekanan statis p pada suatu titik dalam suatu aliran dimana kecepatannya adalah V , maka tekanan stagnasi p_o , dimana kecepatan stagnasi V_o adalah nol, maka :

$$\frac{p_o}{\rho} + \frac{V_o^2}{2} = \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} \quad (2.18)$$



dimana $V_o = 0$, sehingga :

$$\frac{p_o}{\rho} = \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} \quad (2.19)$$

atau,
$$p_o = p + \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (2.20)$$

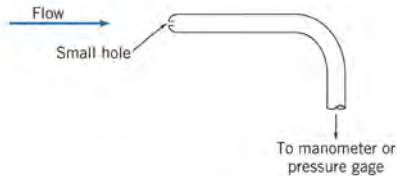
Persamaan di atas adalah kalimat matematis dari definisi tekanan stagnasi, yang valid untuk aliran *incompressible*. Bentuk $\frac{1}{2} \rho V^2$ umumnya disebut tekanan dinamis. Jadi persamaan tekanan dinamis adalah :

$$\frac{1}{2} \rho V^2 = p_o - p \quad (2.21)$$

dan kecepatannya adalah :

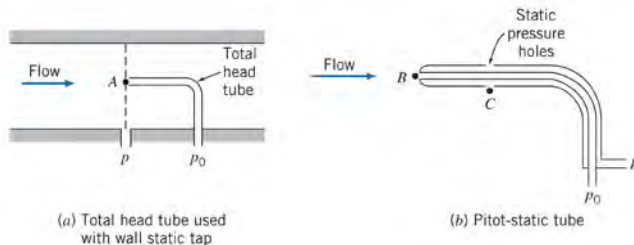
$$V = \sqrt{\frac{2(p_o - p)}{\rho}} \quad (2.22)$$

Sehingga apabila tekanan stagnasi dan tekanan statis diukur pada suatu titik, maka persamaan kecepatan diatas akan menghasilkan kecepatan aliran lokal. Tekanan stagnasi dapat diukur dengan menggunakan sebuah *probe* dimana lubangnya langsung berhadapan dengan aliran seperti terlihat pada gambar 2.7. *Probe* ini dikenal dengan nama *stagnation pressure probe* atau *pitot tube*. Daerah pengukurannya juga harus sejajar dengan arah aliran lokal.



Gambar 2.7. Pengukuran tekanan stagnasi (Fox dan Mc. Donald, 1998)

Pada gambar 2.8 terlihat bahwa tekanan statis pada titik A dapat dibaca dari *wall static pressure tap*. Sedangkan tekanan stagnasi dapat diukur langsung pada titik A dengan menggunakan *total head tube*.



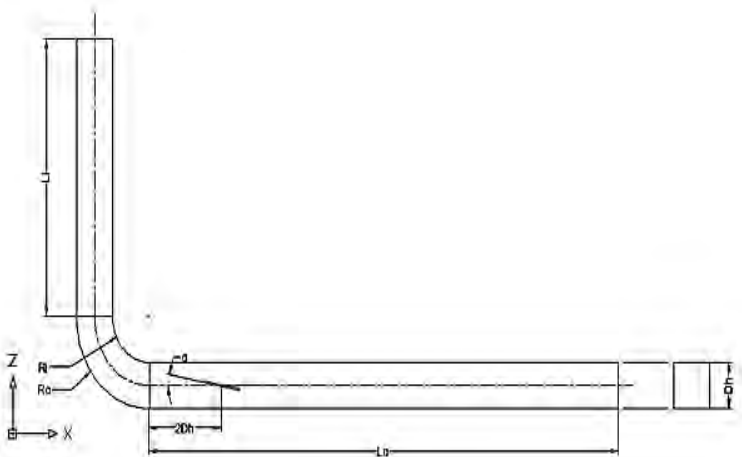
Gambar 2.8. Pengukuran Tekanan Total (Fox dan Mc. Donald, 1998)

2.9. Penelitian Aliran Yang Melalui *Ducting* dengan Damper Sebagai Bodi Pengganggu Pada *Rectangular Ducting*

Edo (2016) telah melakukan studi numerik mengenai fenomena aliran yang melewati suatu saluran berpenampang rectangular yang diletakkan damper sebagai bodi pengganggu didalamnya dan pengaruh variasi sudut kemiringan bodi pengganggu dan bilangan *Reynolds* terhadap karakteristik aliran. Simulasi dilakukan dengan menggunakan model uji berupa *rectangular ducting* yang pada bagian inlet terpasang elbow 90° dengan damper yang diletakkan pada jarak $x/D_h=2$. Fluida kerjanya adalah udara yang mengalir secara incompressible,



viscous, steady dan mempunyai profil kecepatan uniform pada sisi inlet dengan dua variasi bilangan *Reynolds* yaitu 2.05×10^5 dan 8.2×10^5 serta empat pengaturan sudut bodi pengganggu 0° , 10° , 20° , dan 30° . Penelitian dilakukan secara numerik 3D menggunakan piranti lunak *Computation Fluid Dynamics* (CFD) komersial dengan model turbulensi *k-ε Realizable*. *Ducting* pada penelitian ini memiliki penampang *rectangular*, dan pada bagian *inlet* terhubung *elbow* 90, kemudian terpasang juga bodi pengganggu berupa *damper* (α) yang terletak pada jarak $x/D = 2$ sesudah *elbow*. Berikut adalah gambar geometri *rectangular ducting* beserta penempatan posisi *damper* seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Geometri rectangular ducting (Edo :2016)

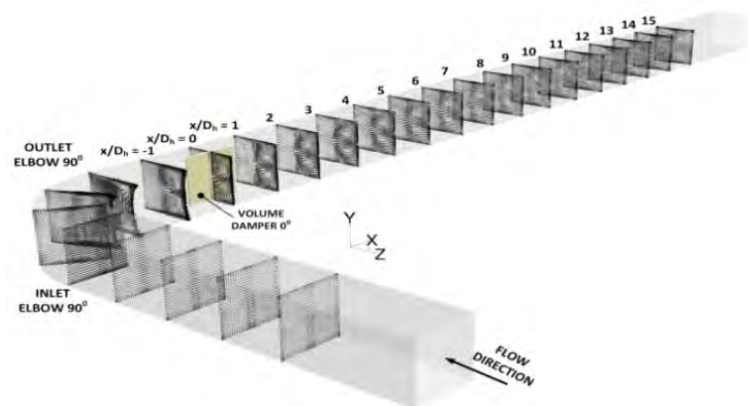
Geometri *ducting* dan penempatan *damper* yang diilustrasikan oleh gambar 2.9 mempunyai spesifikasi dari *domain* pemodelan ini adalah sebagai berikut:

- Bentuk Penampang : *Rectangular*
- Panjang *downstream* (L_o) : 6000 mm
- Panjang *upstream* (L_i) : 1800 mm

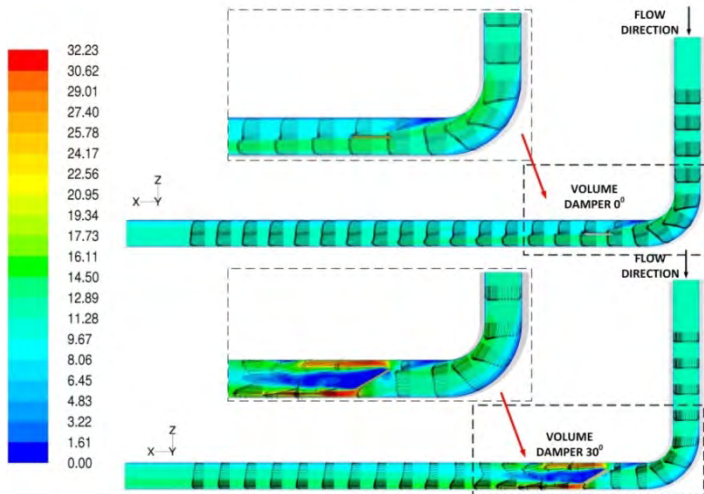


- Tinggi dan lebar ($a \times b$) : 300×300 mm
- *Elbow Inner radius* (r_i) : 300 mm
- *Elbow Outer radius* (r_o) : 600 mm
- *Hydraulic diameter* (D_h) : 300 mm

Hasil yang didapat terdiri dari distribusi profil kecepatan pada setiap cross section pada posisi setelah damper, distribusi profil kecepatan sebelum elbow, pada elbow dan setelah elbow dan visualisasi aliran pada posisi setiap penampang damper. Hasil penelitian diperoleh bahwa proses *recovery* aliran dipengaruhi oleh sudut bukaan damper. Sudut bukaan damper 30° terjadi percepatan aliran pada daerah dekat dinding yang berakibat bertambahnya momentum aliran sehingga mempercepat proses *recovery* aliran dan aliran sekunder pada daerah dekat dinding dapat teratasi. Penempatan setiap cross section dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Penempatan posisi cross section (Edo :2016)



Gambar 2.11. Perkembangan *velocity profile* dan kontur kecepatan sepanjang aliran untuk $Re=2.05 \times 10^5$ (Edo :2016)

Dari gambar 2.11. perilaku aliran dua dimensi dari *upstream* menuju *downstream* berupa grafik *velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu baik pada absis maupun ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $Z/h = 0.5$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner elbow*, sedangkan $Z/h = -0.5$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer elbow*. Pada gambar 2.11 secara umum menggambarkan bentuk profil kecepatan di sepanjang sisi *upstream* sampai *downstream* dijelaskan sebagai berikut: saat memasuki *elbow*, profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $6Dh$.

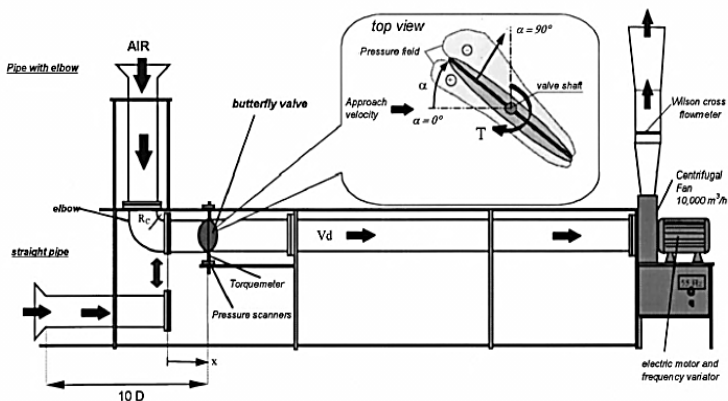
Dari hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwa adanya perlambatan aliran di daerah yang menghubungkan *upstream* dan *downstream* sesaat sebelum melalui *damper* untuk semua variasi sudut, hal ini disebabkan adanya *blockage effect* akibat terbentuknya aliran sekunder pada sisi *inner wall* dekat dinding, daerah ini memiliki momentum yang rendah, tidak ada pengaruh



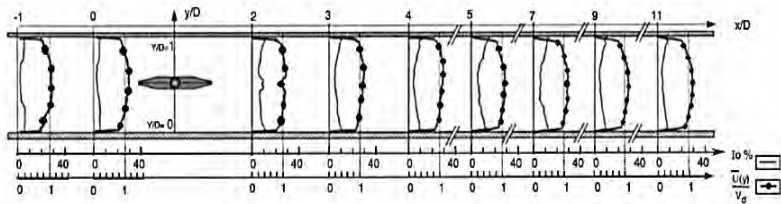
yang signifikan pada variasi kecepatan terhadap proses *recovery* aliran, melainkan proses *recovery* aliran sangat dipengaruhi variasi sudut bukaan *dampers* 0° , 10° , 20° , 30° .

2.10. Karakteristik Aliran Yang Melewati Saluran Dengan *Butterfly Valve* Sebagai Body Pengganggu

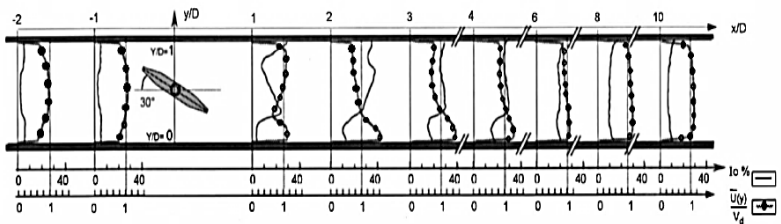
Danbon dan Sollicc (2000) melakukan eksperimen pada saluran berpenampang *circular* yang di dalamnya dipasang *butterfly valve* sebagai pengontrol laju aliran fluida, dengan memanfaatkan torsi yang dihasilkan oleh gaya-gaya aerodinamisnya akan membuka atau menutup seiring bertambah atau berkurangnya laju aliran massa. Eksperimen dilakukan pada kecepatan 40 m/s dan intensitas turbulen 2%, *valve* diletakkan di posisi $x/D=1$ dengan variasi $\alpha=0^\circ$ dan $\alpha=30^\circ$ serta bilangan Reynolds $5.0 \times 10^4 < Re < 10^6$, seperti yang terlihat pada gambar 2.12. Kemudian hasil yang diperoleh adalah profil kecepatan dan profil intensitas turbulen yang digambarkan berupa *dotlines* dan *solidlines*.



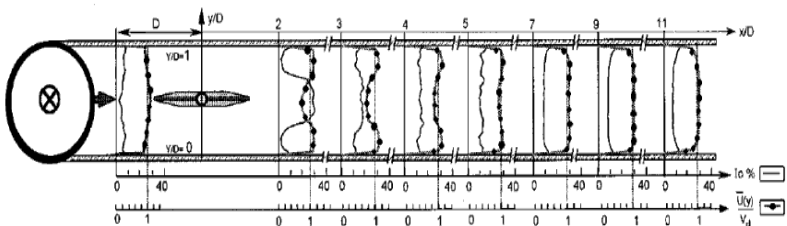
Gambar 2.12. Test Section serta posisi valve $x/D=1$ dan sudut α (Danbon dan Sollicc :2000)



Gambar 2.13. Profil kecepatan dan intensitas turbulen pada medan aliran tanpa *elbow* dengan sudut $\alpha=0^\circ$ (Danbon dan Sollic : 2000)



Gambar 2.14. Profil kecepatan dan intensitas turbulen pada medan aliran tanpa *elbow* dengan sudut $\alpha=30^\circ$ (Danbon dan Sollic : 2000)

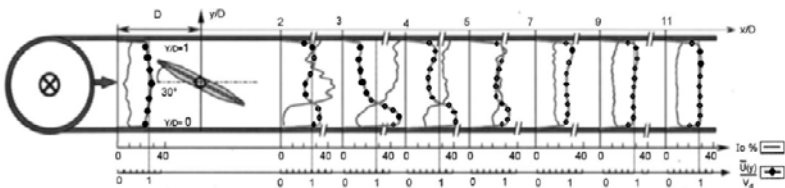


Gambar 2.15. Profil kecepatan dan intensitas turbulen pada medan aliran horizontal pada sudut $\alpha=0^\circ$ dengan *elbow* (Danbon dan Sollic : 2000)

Ketika *valve* dipasang secara *fully open* (0°) dengan *elbow* seperti pada gambar 2.15 terlihat ada perubahan yang signifikan



terhadap profil kecepatan sesaat setelah melalui *valve*, diketahui bahwa nilai $\frac{\bar{U}(y)}{V_d} < 1$ pada *centreline* ($y/D=0,5$) namun akan berangsur-angsur kembali *fully developed* pada $x/D=12$, dibanding dengan tanpa elbow yang mengalami sedikit gangguan sesaat sebelum melalui *valve*, kemudian mencapai *fully developed* lebih cepat seperti yang terlihat pada gambar 2.13.



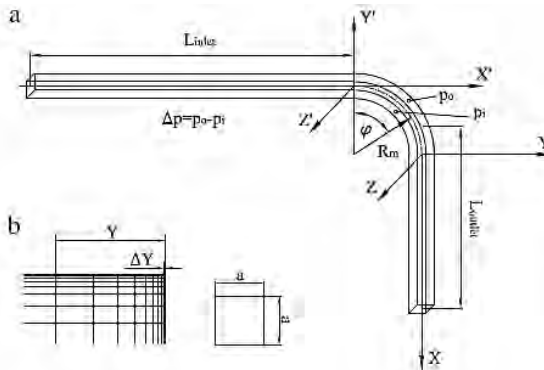
Gambar 2.16. Profil kecepatan dan intensitas turbulen pada medan aliran horizontal pada sudut $\alpha=30^\circ$ dengan elbow (Danbon dan Sollic 2000)

Berbeda juga pada sudut kemiringan 30° tanpa elbow (gambar 2.14) yang dapat mencapai *fully developed* lebih cepat pada $x/D = 11$ dibanding saluran dengan elbow (gambar 2.16) yang kembali *fully developed* pada $x/D=12$. Hal ini disebabkan karena pada saluran yang terpasang elbow sudah mengalami gangguan akibat aliran sekunder di dalamnya, kemudian sesaat setelah melewati elbow terdapat *blockage effect* berupa valve sehingga seolah-olah gangguan tersebut terakumulasi akibatnya aliran tertunda mencapai *fully developed*. Secara keseluruhan, untuk aliran yang melalui valve bukaan 30° akan lebih cepat kembali normal dari pada *fully open*, disebabkan oleh *blockage effect* yang lebih besar akan memberikan momentum tambahan untuk melawan gaya gesernya.



2.11. Karakteristik Aliran Melalui *Rectangular Duct* Dengan *Elbow 90°*

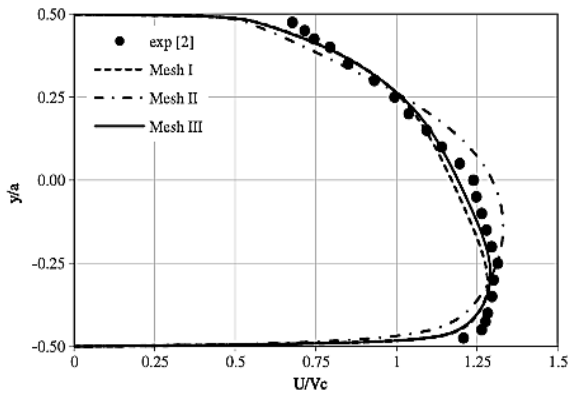
Dalam menganalisa karakteristik aliran melalui *rectangular duct* seperti yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen oleh **Rup dan Sarna (2011)**. Simulasi menggunakan model turbulen RSM (*Reynolds Stress Model*) dilakukan pada $Re = 40000$ yang memiliki ukuran geometri $a \times a = 80 \times 80$ mm, $D_h = 80$ mm dan $L_{inlet} = L_{outlet} = 20D_h = 1600$ mm seperti yang terlihat pada gambar 2.17. Variasi yang dilakukan pada kerapatan *meshing*, dengan jumlah mesh $V_k = 553\ 052$, $V_k = 1766\ 079$, and $V_k = 1034\ 775$.



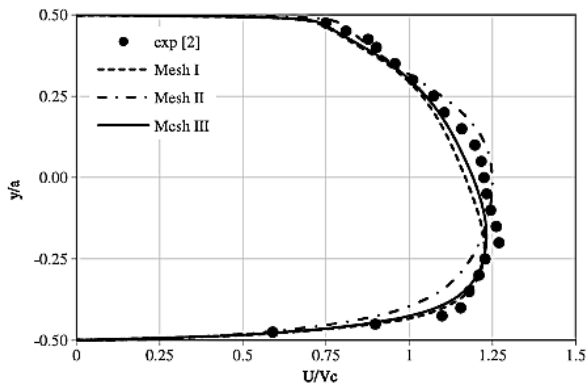
Gambar 2.17. a) Posisi pengambilan data pada domain uji
b) Mesh pada Volume (**Rup dan Sarna : 2011**)

Hasil yang didapatkan yaitu membandingkan hasil eksperimen dan simulasi profil kecepatan pada jarak tertentu dan koefisien tekanan pada aliran sepanjang elbow.

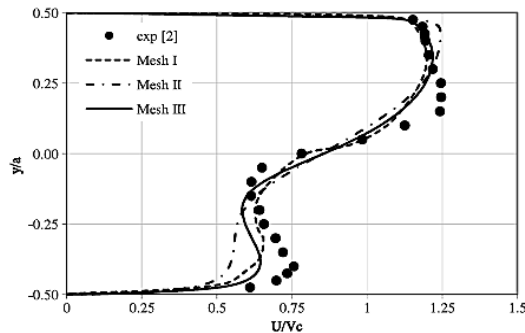
Pada gambar 2.18 dan 2.19, mendeskripsikan bahwa hasil yang didapat dari simulasi mendekati hasil eksperimen untuk profil kecepatan sepanjang *elbow* pada lokasi $\phi = 30^\circ$ dan 60° . Terdapat perbedaan yang jelas terlihat pada gambar 2.20 yang menunjukkan profil kecepatan pada dengan lokasi $x/D_h = 1.0$ and $z/D_h = 0.0$ hanya satu simulasi yang mendekati hasil eksperimen yaitu pada variasi *mesh* III ($V_k = 1034\ 775$).



Gambar 2.18. Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $\phi = 30^\circ$ ($z/Dh = 0.0$) (Rup dan Sarna : 2011)

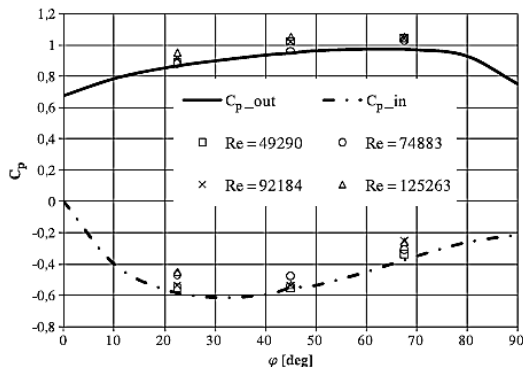


Gambar 2.19. Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $\phi = 60^\circ$ ($z/Dh = 0.0$) (Rup dan Sarna : 2011)



Gambar 2.20. Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $x/D_h = 1.0$ and $z/D_h = 0.0$ (Rup dan Sarna : 2011)

Gambar 2.21 memberikan informasi tentang distribusi koefisien tekanan pada *elbow* yang, dapat diamati bahwa koefisien tekanan maksimum di dinding *elbow* terjadi pada *cross-section* yang terletak pada sudut $\phi = 45^\circ$ ($Z = 0.00$). Perbedaan tekanan ini menjadi parameter untuk menentukan besar *koefisien losses* pada *elbow* tersebut.



Gambar 2.21. Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi inner dan outer wall elbow hasil simulasi dan eksperimen (Rup dan Sarna : 2011)



Halaman ini sengaja dikosongkan



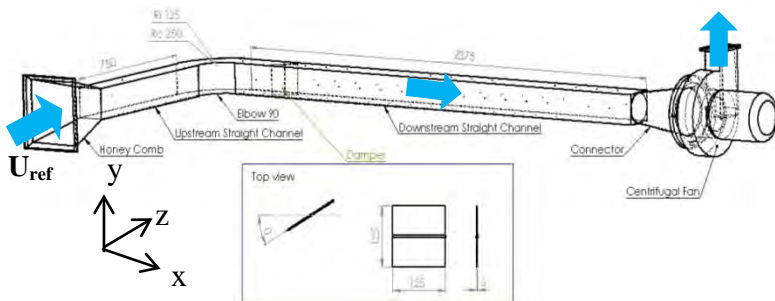
BAB 3

METODE PENELITIAN

Pada bab ini dibahas metode penelitian yang digunakan, yaitu metode penelitian secara eksperimen untuk menganalisis karakteristik aliran dalam *square ducting* dengan variasi sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° , dan 30° yang terletak pada daerah *downstream* setelah *outlet elbow* 90° $x/D_h=2$ dan kecepatan sisi *upstream* pada Re_{D_h} $7,88 \times 10^4$ untuk profil kecepatan pada penampang tegak lurus dengan *damper* (*horizontal cross section*) dan profil kecepatan pada penampang sejajar dengan *damper* (*vertikal cross section*) yang telah ditentukan. *Pressure drop*, *koefisien losses elbow* 90° dan *koefisien losses damper* dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{D_h} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi tanpa *damper*, sudut bukaan *damper* $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30° . Fenomena aliran fluida diambil data pada *downstream straight channel* dengan jarak antara *cross section* sepanjang D_h . Pembahasan metodologi penelitian meliputi instalasi dan *test section* penelitian, peralatan pendukung penelitian, analisa dimensi, prosedur pengambilan data, serta langkah-langkah dalam pengolahan data.

3.1 Skema Penelitian

Instalasi penelitian berupa benda uji (*test section*) dan peralatan pendukung seperti *honey comb*, *square duct*, *square elbow* 90° , *centrifugal fan* dan *connector*. *Damper* dipasang pasang *downstream straight channel* dengan jarak $x = 2D_h$ dari *outlet elbow* 90° dengan variasi pembukaan $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$, dan 30° (bergerak *counterclockwise*). Skema instalasi penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 3.1.

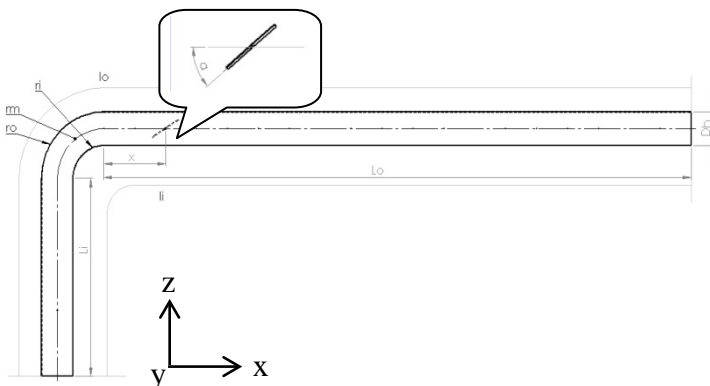


Gambar 3.1. Skema instalasi penelitian

3.2 Peralatan Pendukung

3.2.1 Square Ducting

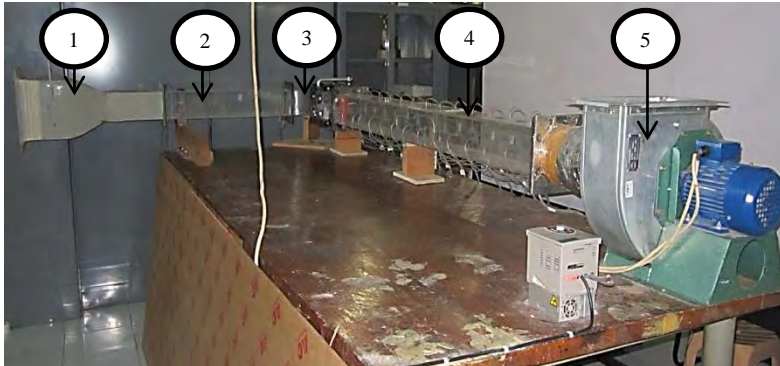
Penelitian menggunakan *square ducting* dan *square elbow 90°* ini dimaksudkan untuk dapat menguji benda dalam skala model. Hal ini disebabkan pengukuran dengan skala sebenarnya cukup sulit dan membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Oleh sebab itu, dibuatlah *square ducting* dan *square elbow 90°* dengan pembuatan kondisi-kondisi yang mendekati kenyataan, sehingga hasilnya cukup akurat dan memadai.



Gambar 3.2. Sketsa Square Ducting (Pandangan Atas)



Square ducting yang digunakan dalam percobaan ini adalah jenis *open circuit*, dimana udara yang dialirkan dalam *ducting* langsung bebas dilepas ke udara bebas setelah melalui *work section*.



Gambar 3.3. Model uji penelitian

Keterangan : 1. *Nozzle*
 2. *Upstream Straight Channel*
 3. *Square Elbow 90°*
 4. *Downstream Straight Channel*
 5. *Centrifugal Fan*

Spesifikasi *Square Ducting* :

Bentuk Penampang: Square dengan *square elbow 90°*

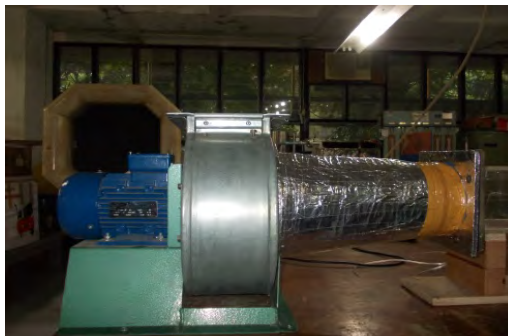
Bahan	: Akrilik
Tebal	: 8 mm
L_m (panjang total garis tengah)	: 2973,125 mm
l_i (panjang total wall)	: 3169,375 mm
l_o (panjang total outer wall)	: 3267,5 mm
L_i (upstream straight channel)	: 750 mm
L_o (downstream straight channel)	: 2125 mm
r_m (centerline elbow 90° radius)	: 187,5 mm
r_i (inner radius)	: 125 mm



r_o (outer radius)	:	250
mm		
a (tinggi damper)	:	125 mm
b (lebar damper)	:	125 mm
D_h (diameter hidrolik)	:	125 mm
x (jarak outlet elbow 90° dengan damper)	:	250 mm

3.2.2. Centrifugal Fan

Pada penelitian ini digunakan 1 buah *centrifugal fan* (gambar 3.4) dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 3.4. *Centrifugal fan*

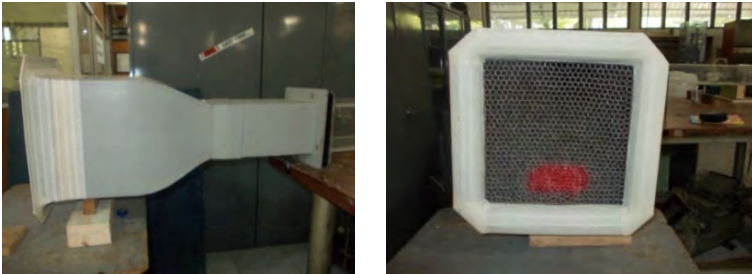
- Merk : ElexMax Three-Phase Motor
- Type : 71M4 – 4 B3
- No : 0221
- Voltage : 220 / 380 Voltage
- Frekuensi : 50 Hz
- Daya : 0,75 KW
- Putaran : 1350 RPM

3.2.3. Honey Comb, Screen dan Nozzle

Nozzle berfungsi untuk menambah kecepatan aliran sebelum memasuki *test suction*. Didalam *nozzle* terdapat *screen* dan *honeycomb* yang berfungsi untuk menjadikan aliran



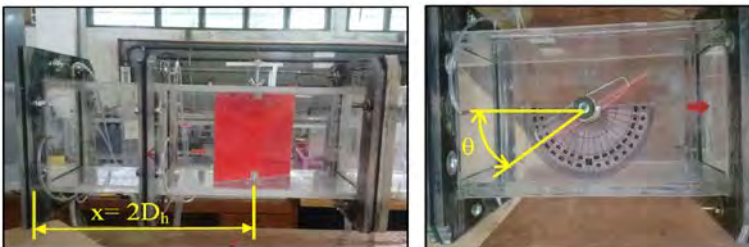
mendekati uniform dan mengurangi turbulensi aliran ketika memasuki instalasi *test suction*.

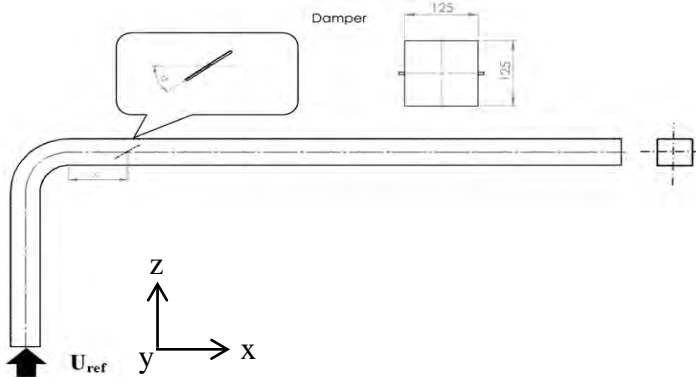


Gambar 3.5. *Nozzle dan Honey Comb*

3.2.4. Damper

Dalam eksperimen ini, instalasi ducting dipasang bodi pengganggu berupa *butterfly valve* yang terletak pada jarak $x/D = 2$ sesudah outlet *elbow* 90° . Damper diposisikan dekat dengan outlet *elbow* 90° untuk mempercepat profil kecepatan agar konvergen dan mengurangi turbulensi aliran setelah melewati *elbow* 90° . Bentuk damper adalah *square* yang menyesuaikan dengan dimensi hidrolis (D_h) dan jumlah damper disesuaikan untuk mempermudah teknik pembuatan. Geometri posisi dan bentuk dari damper adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.6. Damper****Gambar 3.7. Posisi dan dimensi damper (Pandangan Atas)**

- tinggi : 125 mm
- lebar : 125 mm
- x ($x/Dh=2$) : 250 mm
- θ (variasi pembukaan damper) : $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$

3.2.5. Alat Ukur

Pada spesimen ini dibutuhkan beberapa alat ukur untuk mendapatkan tekanan statis dan tekanan stagnasi, diantaranya adalah *wall-pressure tap*, *pitot static tube*, *transducer* dan *manometer inclined*.

1. *Wall-pressure tap*

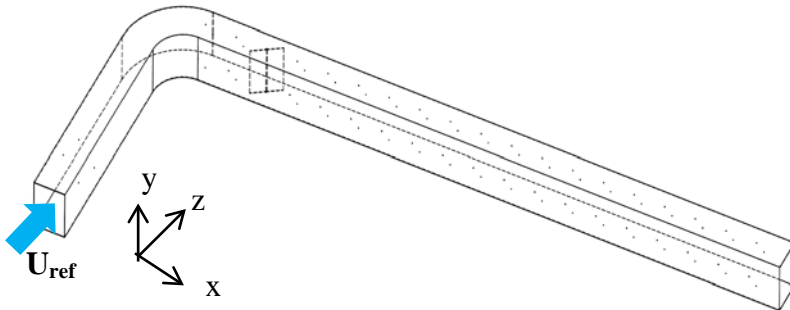
Wall-pressure tap yaitu lubang-lubang kecil berdiameter 1 mm yang terhubung pada manometer atau transducer tekanan serta dipasang sepanjang kontur permukaan benda uji maupun saluran yang searah aliran dan tegak lurus terhadap permukaan.

2. *Pitot Tube*

Alat ini berfungsi untuk mengukur besarnya tekanan statis sekaligus tekanan stagnasi aliran fluida yang terdapat pada saluran maupun yang terletak dibelakang benda uji. Pergeseran titik pengukuran secara horizontal pada setiap *cross*



section yang sama dilakukan secara manual dengan skala pengukuran tertentu.



Gambar 3.8. Skema pemasangan *wall pressure tap* dan *pitot tube*

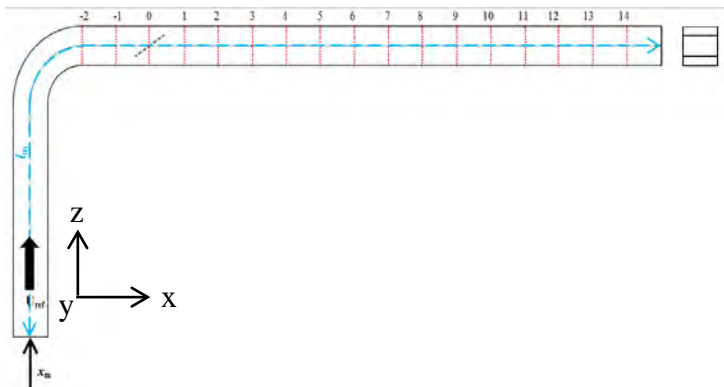
Posisi pemasangan *stagnation pitot tube* dan *wall pressure tap* pada benda uji secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.8. *Wall pressure tap* dipasang sepanjang *downstream straight channel* mulai dari *outlet elbow 90°* pada setiap dinding *ducting* yang disusun secara paralel pada masing-masing *test section* yang berjarak 125 mm (kecuali pada titik posisi *damper*). Titik pengukuran tekanan statis dimulai pada titik yang berjarak 937,5 mm dari *inlet upstream* sampai pada titik yang berjarak 2937,5 mm dari *inlet upstream*. Sedangkan *stagnation pitot tube* dipasang pada *centerline* tepat sejajar dengan *wall pressure tap*, dimana jarak antar *tap* adalah 125 mm.

Jumlah *wall pressure tap* disesuaikan dengan kondisi tekanan pada setiap *section*. Pada bagian *downstream straight channel* dipasang 16 *wall pressure tap*. Untuk mengetahui profil kecepatan aliran, maka *test section* dibagi menjadi 16 *section* yang akan dijadikan posisi peletakan *pitot tube*. Pada tabel 3.1 dan gambar 3.9 ditunjukkan beberapa lokasi yang akan diteliti untuk mendapatkan profil kecepatan.

**Tabel 3.1** Lokasi perhitungan profil kecepatan

Section	x_m (mm)	x_m/l_m	Section	x_m (mm)	x_m/l_m
-2	937,5	0,31	7	2062,5	0,67
-1	1062,5	0,35	8	2187,5	0,71
1	1312,5	0,43	9	2312,5	0,76
2	1437,5	0,47	10	2437,5	0,80
3	1562,5	0,51	11	2562,5	0,84
4	1687,5	0,55	12	2687,5	0,88
5	1812,5	0,59	13	2812,5	0,92
6	1937,5	0,63	14	2937,5	0,96

Jumlah *wall pressure tap* disesuaikan dengan kondisi tekanan pada setiap section. Pada bagian *downstream straight channel* dipasang 16 *wall pressure tap*. Untuk mengetahui profil kecepatan aliran, maka *test section* dibagi menjadi 16 *section* yang akan dijadikan posisi peletakan *pitot tube*. Pada tabel 3.1 dan gambar 3.9 ditunjukkan beberapa lokasi yang akan diteliti untuk mendapatkan profil kecepatan.

**Gambar 3.9.** Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan



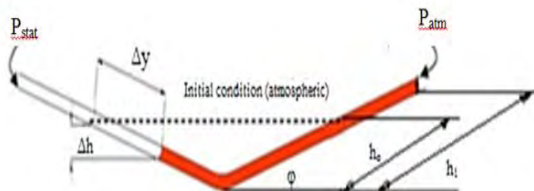
3. Transducer Tekanan dan Data Aquisisi

Berikut spesifikasi *Transducer* yang akan digunakan dalam percobaan ini :

1. Untuk mengukur profil kecepatan
Model : PX653 - 01D5L
Range : $\pm 1''$ WC
Akurasi : 0.25 % FS (Fullscale)
Output : 1 – 5 VDC
Excitation : 12 – 36 VDC
Ser.no. : X14500102
2. Untuk mengukur *pressure drop*, koefisien *losses elbow* 90° dan koefisien *losses damper*
Model : PX653 - 03D5V
Range : $\pm 3''$ WC
Akurasi : 0.25 % FS (Fullscale)
Output : 1 – 5 VDC
Excitation : 12 – 36 VDC
Ser.no. : X11450113

4. Inclined manometer (Manometer V) dan Mistar

Manometer digunakan sebagai pembaca tekanan yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube*. *Manometer* yang digunakan mempunyai kemiringan sebesar 15° yang bertujuan untuk mempermudah pembacaan Δh . *Manometer* digunakan sebagai pembaca tekanan statis dan stagnasi yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.10.





Gambar 3.10. *Inclined Manometer*

Spesifikasi manometer yang digunakan sebagai berikut:

- Skala minimum : 1 mm
- Fluida kerja : *Kerosene* ($SG_{\text{kerosene}} = 0,827$)
- Kemiringan : 15°

3.3 Analisa Dimensi Parameter-Parameter yang Dianalisa

Analisa dimensi diperlukan untuk mengetahui apakah suatu parameter berpengaruh terhadap suatu eksperimen. Hubungan antara parameter yang saling mempengaruhi ditunjukkan dalam bentuk parameter-parameter tanpa dimensi. Metode analisa ini dikenal dengan *Buckingham Pi Theorem*. Dalam skema penelitian pada gambar 3.2. Parameter-parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran sepanjang *downstream straight channel*.

- Δp : perbedaan tekanan statis lokal dan referensi (N/m^2)
- ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)
- μ : viskositas absolut fluida (kg/(m.s))
- U_{ref} : kecepatan *freestream* di *inlet upstream* (m/s)
- u : kecepatan local (m/s)
- a : tinggi *damper* (m)
- b : lebar *damper* (m)
- r_m : mean radius *elbow* 90° (m)
- r_i : *inner radius elbow* 90° (m)
- r_o : *outer radius elbow* 90° (m)
- l_i : panjang total *inner* searah *streamline elbow* 90° (m)
- l_o : panjang total *outer* searah *streamline elbow* 90° (m)
- D_h : diameter hidrolik saluran (m)
- L_i : panjang *upstream straight channel* (m)
- L_o : panjang *downstream straight channel* (m)
- θ : sudut pembukaan *damper*
- y : aliran searah sumbu koordinat y
- z : aliran searah sumbu koordinat z
- x : aliran searah sumbu koordinat x



3.3.1 Analisa Grup Tak Berdimensi untuk *Pressure Drop* pada *Square Ducting*

Pressure drop pada *square ducting* diduga dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga perbedaan tekanan dapat dituliskan sebagai fungsi parameter-parameter tersebut. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta p = f(\rho, \mu, U_{ref}, a, b, r_m, r_i, r_o, l_i, l_o, L_i, L_o, D_h, x, y, z, \theta) \quad (3.1)$$

dimana ΔP adalah perbedaan tekanan (N/m^2)

Menggunakan *Buckingham Pi-theorema* dengan parameter ρ, U_{ref} dan D_h diperoleh 15 grup tak dimensi yaitu :

1. $\pi_1 = \frac{\Delta P}{\rho U_{ref}^2}$; koefisien tekanan
 2. $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}$; bilangan *Reynolds*
 3. $\pi_3 = \frac{r_m}{D_h}$; perbandingan *mean radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
 4. $\pi_4 = \frac{r_i}{D_h}$; perbandingan *inner radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
 5. $\pi_5 = \frac{r_o}{D_h}$; perbandingan *outer radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
 6. $\pi_6 = \frac{l_i}{D_h}$; perbandingan panjang total inner searah *streamline elbow radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
 7. $\pi_7 = \frac{l_o}{D_h}$; perbandingan panjang total outer searah *streamline elbow radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
 8. $\pi_8 = \frac{L_i}{D_h}$; perbandingan panjang *upstream straight channel* dengan diameter hidrolik
 9. $\pi_9 = \frac{L_o}{D_h}$; perbandingan panjang *downstream straight channel* dengan diameter hidrolik
-



10. $\pi_{10} = \frac{a}{D_h}$; perbandingan tinggi damper dengan diameter hidrolik
11. $\pi_{11} = \frac{b}{D_h}$; perbandingan lebar damper dengan diameter hidrolik
12. $\pi_{12} = \frac{x}{D_h}$; perbandingan arah aliran sumbu x dengan diameter hidrolik
13. $\pi_{13} = \frac{y}{D_h}$; perbandingan arah aliran sumbu y dengan diameter hidrolik
14. $\pi_{14} = \frac{z}{D_h}$; perbandingan arah aliran sumbu z dengan diameter hidrolik
15. $\pi_{15} = \theta$; sudut bukaan damper

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10}, \Pi_{11}, \Pi_{12}, \Pi_{13}, \Pi_{14}, \Pi_{15}) \quad (3.2)$$

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} f\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{r_m}{D_h}, \frac{r_i}{D_h}, \frac{r_o}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_i}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}, \theta\right) \quad (3.3)$$

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tetap adalah $\frac{r_m}{D_h}, \frac{r_i}{D_h}, \frac{r_o}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_i}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}$ dan $\frac{z}{D_h}$ sehingga

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \theta\right) \quad (3.4)$$

dan untuk *pressure drop* tak berdimensi ($\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2}$) pada *square ducting* adalah sebagai berikut :

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_2(Re_{D_h}, \theta)$$

3.3.2 Analisa Grup Tak Berdimensi untuk kecepatan pada Square Ducting

Velocity profile pada *square ducting* diduga dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga kecepatan dapat dituliskan



sebagai fungsi parameter-parameter tersebut. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$u = f(\rho, \mu, U_{ref}, a, b, r_m, r_i, r_o, l_i, l_o, L_i, L_o, D_h, x, y, z, \theta) \quad (3.5)$$

dimana u adalah kecepatan lokal (m/s)

Menggunakan Buckingham Pi-theorema dengan parameter ρ, U_{ref} dan D_h diperoleh 15 grup tak dimensi yaitu :

1. $\pi_1 = \frac{u}{U_{ref}}$; kecepatan tak berdimensi
 2. $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}$; bilangan *Reynolds*
 3. $\pi_3 = \frac{r_m}{D_h}$; perbandingan *mean radius elbow* 90° dengan diameter hidrolik
 4. $\pi_4 = \frac{r_i}{D_h}$; perbandingan *inner radius elbow* 90° dengan diameter hidrolik
 5. $\pi_5 = \frac{r_o}{D_h}$; perbandingan *outer radius elbow* 90° dengan diameter hidrolik
 6. $\pi_6 = \frac{l_i}{D_h}$; perbandingan panjang total inner searah *streamline elbow radius elbow* 90° dengan diameter hidrolik
 7. $\pi_7 = \frac{l_o}{D_h}$; perbandingan panjang total outer searah *streamline elbow radius elbow* 90° dengan diameter hidrolik
 8. $\pi_8 = \frac{L_i}{D_h}$; perbandingan panjang *upstreams straight channel* dengan diameter hidrolik
 9. $\pi_9 = \frac{L_o}{D_h}$; perbandingan panjang *downstreams straight channel* dengan diameter hidrolik
 10. $\pi_{10} = \frac{a}{D_h}$; perbandingan tinggi damper dengan diameter hidrolik
-



11. $\pi_{11} = \frac{b}{D_h}$; perbandingan lebar damper dengan diameter hidrolik
12. $\pi_{12} = \frac{x}{D_h}$; perbandingan *arah aliran sumbu x* dengan diameter hidrolik
13. $\pi_{13} = \frac{y}{D_h}$; perbandingan *arah aliran sumbu y* dengan diameter hidrolik
14. $\pi_{14} = \frac{z}{D_h}$; perbandingan *arah aliran sumbu z* dengan diameter hidrolik
15. $\pi_{15} = \theta$; sudut bukaan damper

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10}, \Pi_{11}, \Pi_{12}, \Pi_{13}, \Pi_{14}, \Pi_{15}) \quad (3.6)$$

$$\frac{u}{u_{ref}} f\left(\frac{\mu}{\rho u_{ref} D_h}, \frac{r_m}{D_h}, \frac{r_i}{D_h}, \frac{r_o}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_i}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}, \theta\right) \quad (3.7)$$

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tetap adalah $\frac{r_m}{D_h}, \frac{r_i}{D_h}, \frac{r_o}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_i}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}$ dan $\frac{x}{D_h}$ sehingga

$$\frac{u}{u_{ref}} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho u_{ref} D_h}, \theta, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}\right) \quad (3.8)$$

dan untuk kecepatan tak berdimensi ($\frac{u}{u_{ref}}$) pada *square ducting* adalah sebagai berikut :

$$\frac{u}{u_{ref}} = f_2\left(Re_{D_h}, \theta, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}\right) \quad (3.9)$$

Untuk menghitung profil kecepatan dengan menggunakan *Reynolds number* konstan yaitu $7,88 \times 10^4$.



3.4 Langkah-Langkah Validasi

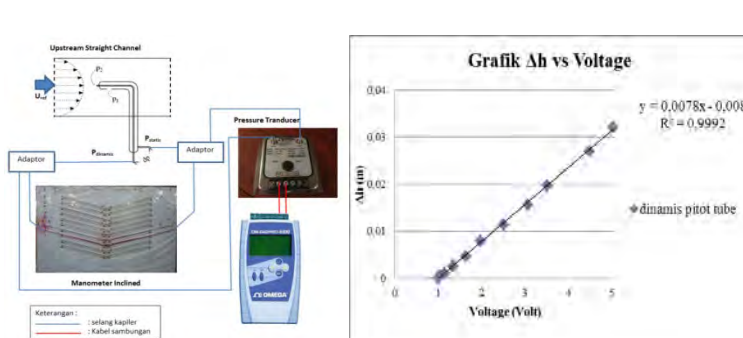
Ada beberapa langkah validasi yang perlu dilakukan sebelum pengambilan data, yaitu :

3.4.1 Alat yang digunakan

Peralatan yang dipergunakan pada proses kalibrasi :

- Manometer
- Pressure Transducer
- Data Aquisisi DAQ PRO 5300
- Pitot Static Tube

3.4.2 Validasi Tekanan Dinamis



Gambar 3.11. Skema dan hasil validasi tekanan dinamis

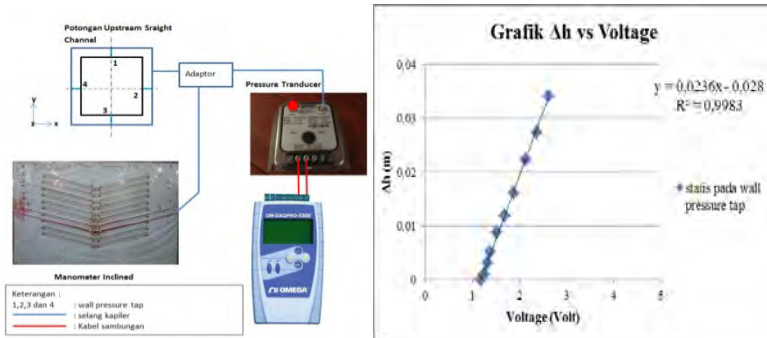
1. Pemasangan instalasi untuk keadaan *free stream* dengan sudut damper 0° .
2. *Pitot static tube* dipasang pada dinding saluran udara yang tersambung pada *manometer* dan *transducer*.
3. Pengaturan *inverter* dari 0 – 50 Hz dengan interval 5 Hz.
4. Diambil data *manometer* dan *pressure transducer* untuk tekanan dinamik.
5. Dari *manometer* didapatkan Δh (mm) dan dari data aqisisi didapatkan *Voltage* (Volt).



6. Data-data tersebut dibuat grafik Δh *manometer* vs *voltage* (*Volt*) sehingga diketahui juga hubungan dengan sebuah formula.

3.4.3 Validasi Tekanan Dinding

1. Pemasangan instalasi untuk keadaan *free stream* dengan sudut damper 0° .
2. *Wall pressure tap* pada *inlet upstream* dihubungkan pada *manometer* dan *transducer*.
3. Pengaturan *inverter* dari 0 – 50 Hz dengan interval 5 Hz.
4. Diambil data *manometer* dan *pressure transducer* untuk tekanan statis dinding.
5. Dari *manometer* didapatkan Δh (mm) dan dari data aqisيسي didapatkan *Voltage* (*Volt*).
6. Data-data tersebut dibuat grafik Δh *manometer* vs *voltage* (*Volt*) sehingga diketahui juga hubungan dengan sebuah formula.



Gambar 3.12. Skema dan hasil validasi tekanan statis

3.5 Prosedur Pengambilan Data

3.5.1 Pengambilan Data Kuantitatif

Parameter yang diukur pada penelitian ini meliputi tekanan stagnasi dan tekanan statis. Sebelum melakukan pengambilan data maka perlu dilakukan pengukuran suhu ruangan terlebih dahulu.



Masing-masing pengukuran memiliki prosedur pengambilan data yang berbeda dan akan dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Prosedur pengukuran tekanan dinamis
Prosedur pengukuran tekanan dinamis adalah sebagai berikut:
 - a) *Test section* dipersiapkan.
 - b) *Pitot tube* dipasang pada posisi yang ingin diukur.
 - c) *Pitot tube* dihubungkan dengan *pressure transducer* dengan menggunakan selang kapiler.
 - d) Posisi *pitot tube* diatur pada titik awal pengukuran pada jarak $x_m / l_m = 0.31$ dan pada jarak $r_o / b_x \approx 1$ artinya ujung *pitot tube* sebisa mungkin di dekatkan pada *dinding outer* saluran udara.
 - e) Frekuensi inverter diatur untuk mendapatkan putaran *blower* yang sesuai kebutuhan.
 - f) *Voltage* dari *pressure transducer* pada tekanan stagnasi pada dicatat.
 - g) *Blower* dimatikan
 - h) *Pitot tube* digeser searah horisontal mendekati sisi *inner duct*.
 - i) Langkah e sampai h diulangi sampai titik tekanan stagnasi terakhir yang telah ditentukan sebelumnya.
- 2) Prosedur pengukuran tekanan statis adalah sebagai berikut:
 - a) *Test section* dipersiapkan.
 - b) *Wall pressure tap* dihubungkan ke *pressure transducer* dengan selang kapiler.
 - c) Frekuensi inverter diatur untuk mendapatkan putaran *blower* yang sesuai kebutuhan.
 - d) Data *voltage* dari *pressure transducer* dicatat.
 - e) Selang kapiler *pressure transducer* dilepas dari *wall pressure tap* pertama kemudian dihubungkan dengan selang kapiler untuk *wall pressure tap* pada titik *section* selanjutnya.



- f) Langkah c) sampai e) diulangi sampai didapatkan data pada posisi *pressure tap* yang terakhir pada posisi 16D_h dari *inlet downstream straight channel*.

3.5.2 Pengolahan Data Kuantitatif

Pengolahan data dilakukan dengan membuat sebuah contoh perhitungan. Beberapa data awal yang diperlukan untuk melakukan proses perhitungan adalah:

Diameter hidrolik (D_h)	: 125 mm
Panjang <i>downstream straight channel</i>	: 2125 mm
Panjang <i>total inner wall</i> (l_i)	: 3169,375 mm
Panjang <i>total Outer wall</i> (l_o)	: 3267,5 mm
Sudut <i>inclined manometer</i> (θ)	: 15°
<i>Specific Gravity kerosene</i> ($SG_{kerosene}$)	: 0,827
Percepatan Gravitasi (g)	: 9,81 m/s ²
Temperatur ruangan dianggap konstan (T)	: 28°C
Massa jenis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ρ_{ud})	: 1,182 kg/m ³
Viskositas kinematis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ν)	: 1,59 x 10 ⁻⁵ m ² /s
Massa jenis air pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ρ_{H_2O})	: 996,4 kg/m ³

1) Perhitungan untuk *Reynolds Number*

Pada eksperimen ini digunakan angka *Reynolds* yang didapat melalui persamaan 3.10 didapatkan kecepatan awal *centrifugal fan* diatur pada *Reynolds Number* 7,88x10⁴.

$$Re_{Dh} = \frac{\rho_{ud} \cdot U_{ref} \cdot D_h}{\mu} = \frac{U_{ref} \cdot D_h}{\nu} \quad (3.10)$$

dimana: ρ_{ud} : massa jenis udara pada 28°C (kg/m³)
 ν : viskositas kinematis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$ (m²/s)
 μ : viskositas absolut udara pada $T = 28^\circ\text{C}$
 U_{ref} : kecepatan freestream pada *inlet upstream* (m/s)
 D_h : diameter hidrolik ducting (m)
 Re_{Dh} : *Reynolds number*



Fan yang digunakan pada eksperimen ini adalah *centrifugal fan*. Untuk mendapatkan kecepatan awal (U_{ref}) sebesar 10 m/s dilakukan pengaturan frekuensi pada inverter secara manual. Dengan kalibrasi validasi tekanan dinamik pada saluran *upstream straight channel* melalui *inclined manometer* untuk pengukuran nilai Δh . Nilai Δh diukur dari frekuensi 0 Hz sampai 50 Hz sehingga akan mendapatkan frekuensi dengan nilai Δh pada kecepatan udara masuk 10 m/s dengan *Reynolds Number* $7,88 \times 10^4$. Pengukuran kecepatan aliran masuk menggunakan persamaan 3.11 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{dinamis} &= \rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h & (3.11) \\ \frac{1}{2} \cdot \rho_{ud} \cdot (U_{ref})^2 &= SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot 2 \cdot \Delta y \sin 15^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{ref}^2 &= \frac{4 \cdot SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta y \sin 15^\circ}{\rho_{udara}} \\ U_{ref} &= \sqrt{\frac{4 \cdot SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta y \sin 15^\circ}{\rho_{udara}}} & (3.12) \end{aligned}$$

dimana : $P_{dinamis}$: ($P_{stagnasi} - P_{statis}$) tekanan dinamis diukur dengan *pitot tube* (N/m^2)
 $P_{kerosene}$: massa jenis *kerosene* pada $28^\circ C$ (kg/m^3)
 ρ_{udara} : massa jenis udara pada $28^\circ C$ (kg/m^3)
 g : percepatan gravitasi (m/s^2)
 Δh : perbedaan fluida pada manometer (m)
 U_{ref} : kecepatan freestream pada *inlet upstream* (m/s)
 $SG_{kerosene}$: *Specific Gravity kerosene* pada $28^\circ C$
 ρ_{H2O} : massa jenis air pada $28^\circ C$ (kg/m^3)

2) Perhitungan kecepatan lokal

Profil kecepatan diukur pada 16 *test section* sepanjang *downstream straight channel* dengan variasi pembukaan sudut damper dan pada *Reynolds Number* $7,88 \times 10^4$. Posisi pengukuran dilakukan secara horizontal dari sisi *outer wall ducting*. Perhitungan profil kecepatan pada setiap *section* sepanjang



downstream straight channel ditulis sesuai persamaan 3.13 sebagai berikut:

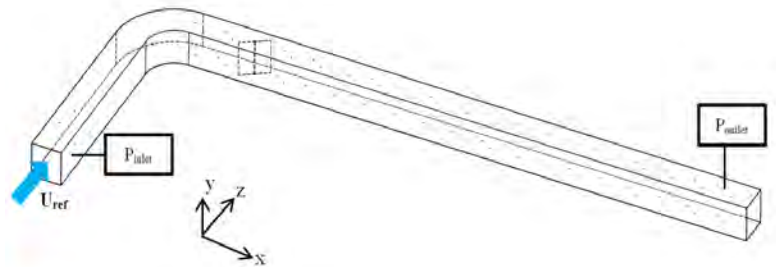
$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_{\text{stagnasi}} - P_{\text{statis}})}{\rho_{\text{udara}}}} \quad (3.13)$$

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_{\text{dinamis}})}{\rho_{\text{udara}}}} \quad (3.14)$$

dimana : u : kecepatan lokal (m/s)
 P_{dinamis} : $(P_{\text{stagnasi}} - P_{\text{statis}})$ tekanan dinamis diukur dengan *pitot tube* (N/m²)
 ρ_{udara} : massa jenis udara pada 28°C (kg/m³)

3) Perhitungan *Pressure Drop* (Δp)

Pressure drop adalah selisih tekanan *inlet* pada *upstream straight channel* dan tekanan *outlet* pada *downstream straight channel* (section 14) seperti pada gambar 3.13. Sisi *inner* dan *outer* mempunyai tekanan *inlet* dan *outlet* yang hampir sama. Perhitungan P_{inlet} dan P_{outlet} adalah sebagai berikut :



Gambar 3.13. Lokasi perhitungan untuk *pressure drop*

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{\text{inlet}} - P_{\text{outlet}} \\ \Delta P &= (\rho_{\text{kerosene}} \cdot g \cdot \Delta h_{\text{inlet}}) - (\rho_{\text{kerosene}} \cdot g \cdot \Delta h_{\text{outlet}}) \\ \Delta P &= (SG_{\text{kerosene}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot g \cdot \Delta h_{\text{inlet}}) - (SG_{\text{kerosene}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot g \cdot \Delta h_{\text{outlet}}) \end{aligned} \quad (3.15)$$

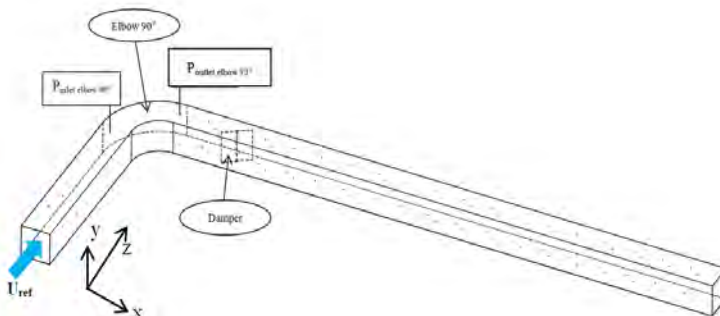


dimana : ΔP : kecepatan lokal (m/s)
 P_{inlet} : Tekanan *inlet* pada *upstream straight channel* (N/m²)
 P_{outlet} : Tekanan *outlet* pada *downstream (section 14)* (N/m²)

Pressure drop pada penelitian ini akan dilakukan dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi tanpa damper, sudut damper 0°, 10°, 20° dan 30°.

4) Perhitungan *Koefisien Losses elbow 90°* ($K_{elbow 90^\circ}$)

Eksperimen ini menggunakan *duct elbow 90°* berpenampang *square* dengan dipasang sebuah *damper* pada jarak $2D_h$ dari *outlet elbow 90°*. Pemasangan *elbow 90°* akan mengakibatkan *koefisien losses elbow 90°* pada saluran. *Koefisien losses elbow 90°* adalah nilai konstanta yang menentukan besar kecil *head loss minor* akibat pemasangan sebuah *elbow 90°* pada sebuah saluran udara. Pada eksperimen ini, *koefisien losses elbow 90°* didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap inlet elbow 90°* dan *outlet elbow 90° (section -2)* seperti pada gambar 3.14.



Gambar 3.14. Lokasi perhitungan untuk *koefisien losses elbow 90°*

$$P_{outlet elbow 90^\circ} - P_{inlet elbow 90^\circ} = K_{elbow 90^\circ} \frac{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}}{2} \quad (3.16)$$



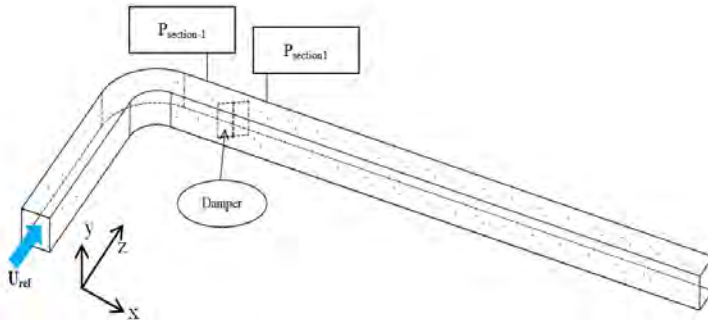
$$K_{elbow\ 90^\circ} = \frac{(P_{outlet\ elbow\ 90^\circ} - P_{inlet\ elbow\ 90^\circ}) \times 2}{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}} \quad (3.17)$$

dimana :	$P_{outlet\ elbow\ 90^\circ}$:	Tekanan pada <i>outlet elbow 90°</i> (<i>section -2</i>) (N/m ²)
	$P_{inlet\ elbow\ 90^\circ}$:	Tekanan pada <i>inlet elbow 90°</i> (N/m ²)
	\bar{V}^2	:	Kecepatan udara masuk pada upstream (m/s)
	ρ_{udara}	:	massa jenis udara pada 28°C (kg/m ³)
	$K_{elbow\ 90^\circ}$:	<i>koefisien losses elbow 90°</i>

Koefisien losses elbow 90° pada penelitian ini akan dilakukan dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi sudut bukaan damper 0°, 10°, 20° dan 30°.

5) Perhitungan *Koefisien Losses Damper* (K_{damper})

Eksperimen ini menggunakan *duct elbow 90°* berpenampang *square* dengan dipasang sebuah *damper* pada jarak $2D_h$ dari *outlet elbow 90°*. Pemasangan damper akan mengakibatkan *koefisien losses damper* pada saluran. *Koefisien losses damper* adalah nilai konstanta yang menentukan besar kecil *head loss minor* akibat pemasangan sebuah damper.



Gambar 3.15. Lokasi perhitungan untuk koefisien losses damper

Pada eksperimen ini, koefisien losses damper didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap* inlet sebelum damper (*section -1*) dan sesudah damper (*section 1*) yang terdapat pada *downstream straight channel* seperti pada gambar 3.15.

$$P_1 - P_{-1} = K_{damper} \frac{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}}{2} \quad (3.18)$$

$$K_{damper} = \frac{(P_1 - P_{-1}) \times 2}{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}} \quad (3.19)$$

dimana : P_{-1} : Tekanan pada *downstream (section -1)* (N/m^2)

P_1 : Tekanan pada *downstream (section 1)* (N/m^2)

\bar{V}^2 : Kecepatan udara masuk pada upstream (m/s)

ρ_{udara} : massa jenis udara pada 28°C (kg/m^3)



K_{damper} : koefisien losses damper

Koefisien losses damper pada penelitian ini akan dilakukan dengan variasi Reynolds number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi sudut bukaan damper $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30° .

3.6 Urutan Langkah Penelitian

Pada tabel 3.2 dijelaskan urutan langkah penelitian yang akan dilakukan. Urutan langkah penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Urutan langkah penelitian

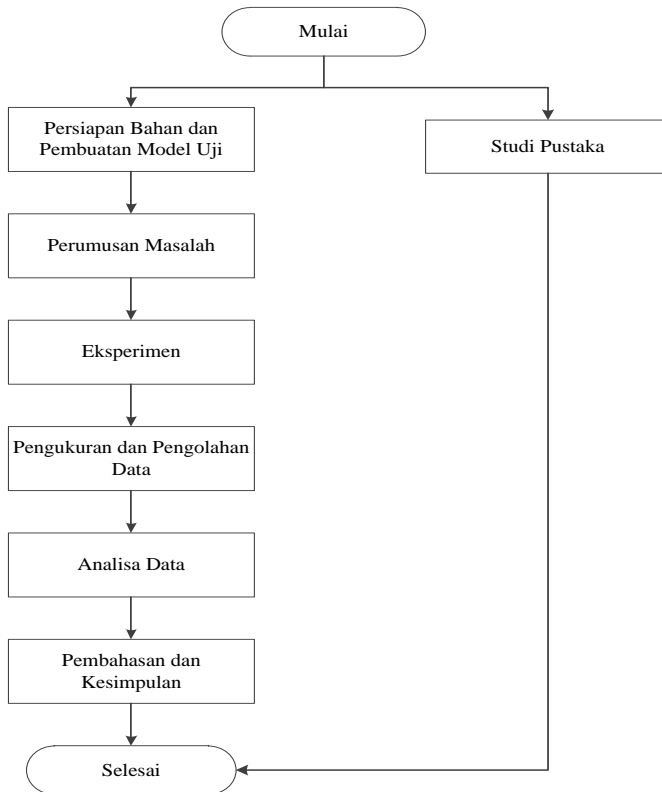
1. Profil kecepatan bidang horizontal pada Re_{Dh} $7,88 \times 10^4$	Profil kecepatan dengan tanpa damper
	Profil kecepatan dengan sudut pembukaan damper $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30°
2. Profil kecepatan bidang vertikal pada Re_{Dh} $7,88 \times 10^4$	Profil kecepatan dengan tanpa damper
	Profil kecepatan dengan sudut pembukaan damper $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30°
3. Pressure drop dengan variasi Re_{Dh} $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$	Pressure drop dengan tanpa damper
	Pressure drop dengan sudut pembukaan damper $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30°
4. Koefisien losess elbow 90° dengan variasi	Koefisien losess elbow 90° dengan sudut pembukaan



$3,94 \times 10^4 < \text{Re}_{\text{Dh}} < 10^5$	<i>damper 0°, 10°, 20° dan 30°</i>
5. Koefisien losess damper dengan variasi $3,94 \times 10^4 < \text{Re}_{\text{Dh}} < 10^5$	<i>Koefisien losess damper dengan sudut pembukaan damper 0°, 10°, 20° dan 30°</i>

3.7 Flowchart Penelitian

Gambar 3.16 merupakan *flowchart* dari urutan langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3.16. *Flowchart* penelitian

3.8 Jadwal Pelaksanaan Penelitian


Pelaksanaan penelitian ini merupakan jadwal dari langkah penelitian dan langkah pengambilan data seperti yang tertera pada tabel berikut.


Tabel 3.3 Jadwal pelaksanaan penelitian




No.	Kegiatan	Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4				Bulan 5				Bulan 6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Pustaka																								
2	Pembuatan Desain Alat																								
3	Pembuatan Alat dan benda Uji																								
4	Penulisan Laporan bab 1 - 3																								
5	Penulisan Laporan Bab 4 dan 5																								
6	Kalibrasi Alat																								
7	Pelaksanaan Pengambilan Data																								
8	Pengolahan Data dan Analisa Data																								
9	Pengujian Bab 1 - 3																								
10	Pengujian Tugas Akhir																								

3.9 Gambar Peralatan Penelitian

Tabel 3.4 Peralatan penelitian



No	Nama Alat	Gambar
1	DAQ PRO 5300	
2	Differential Pressure Transmitter	



		
3	Inverter	
4	Centrifugal Fan	

5	Pitot Static Tube	
---	--------------------------	--



		
6	Inclined Manometer	



BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini ditampilkan data, grafik dan penjelasan dari hasil studi eksperimen. Hasil studi ditampilkan dan dibahas dalam beberapa sub-bab meliputi profil kecepatan horizontal dan vertikal pada sisi *inlet upstream straight channel* profil kecepatan pada penampang tegak lurus dengan damper (*horizontal cross section*) yang telah ditentukan, profil kecepatan pada penampang sejajar dengan damper (*vertikal cross section*) yang telah ditentukan, *pressure drop*, koefisien losses elbow 90° dan koefisien losses damper dengan variasi *Reynolds number*.

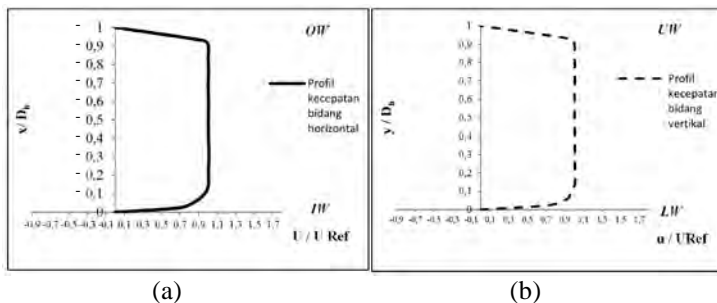
Secara garis besar pembahasan hasil dan analisa eksperimen profil kecepatan pada penampang tegak lurus dan vertikal dengan damper (*horizontal dan vertikal cross section*) yang telah ditentukan pada sudut buka damper 0°, 10°, 20° dan 30° dengan profil kecepatan model uji tanpa damper pada kecepatan 10 m/s, *pressure drop* pada *square duct* dengan elbow 90° dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi tanpa damper, sudut bukaan damper 0°, 10°, 20° dan 30° dan koefisien losses damper pada *square duct* dengan elbow 90° dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi sudut bukaan damper 0°, 10°, 20° dan 30°.

4.1. Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal pada Sisi *Inlet Upstream Straight Channel* $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$

Profil kecepatan pada sisi *upstream straight channel* digunakan sebagai acuan untuk menentukan gambaran proses *recovery* profil kecepatan daerah *downstream straight channel* pada *section* yang telah ditentukan. Pada gambar 4.1.(a) menunjukkan perilaku aliran dua pada sisi *upstream straight channel* berupa grafik *velocity profile* pada bidang horizontal.



Velocity profile dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai minus satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $x/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner upstream straight channel* dan $x/D_h = -1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer upstream straight channel*.



OW : Outer Wall; IW : Outer Wall; UW : Upper Wall; LW : Lower Wall

Gambar 4.1. Grafik *velocity profile* (a) bidang horizontal sisi *upstream straight channel* (b) bidang vertikal sisi *upstream straight channel*

Pada gambar 4.1.(b) menunjukkan perilaku aliran dua pada sisi *upstream straight channel* berupa grafik *velocity profile* pada bidang vertikal. *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $y/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *lower upstream straight channel* dan $x/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *upper upstream straight channel*.



4.2. Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa *Damper* dengan Sudut Buka *Damper* 0° $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$

Profil Kecepatan pada *ducting* dipengaruhi oleh sudut kemiringan *damper* sebagai bodi pengganggu kemudian dilakukan pengamatan perkembangan profil kecepatan aliran di dalamnya. Profil kecepatan ditunjukkan dalam bentuk kecepatan tak berdimensi (u/U_{ref}) dimana u adalah kecepatan lokal pada titik *section* tersebut dan U_{ref} merupakan kecepatan masuk pada *upstream straight channel*. Berikut ini akan dibahas perkembangan *velocity profile* setiap *section*. Penempatan setiap *cross section* dapat dilihat pada gambar 4.2.



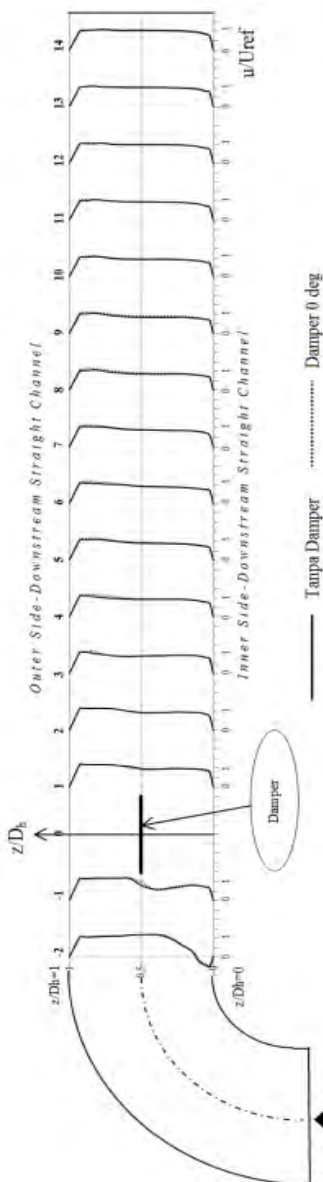
Gambar 4.2. Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan

Untuk lebih jelasnya, dari gambar 4.3 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream straight channel* berupa grafik *velocity profile* pada bidang horizontal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 0° . *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $z/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan

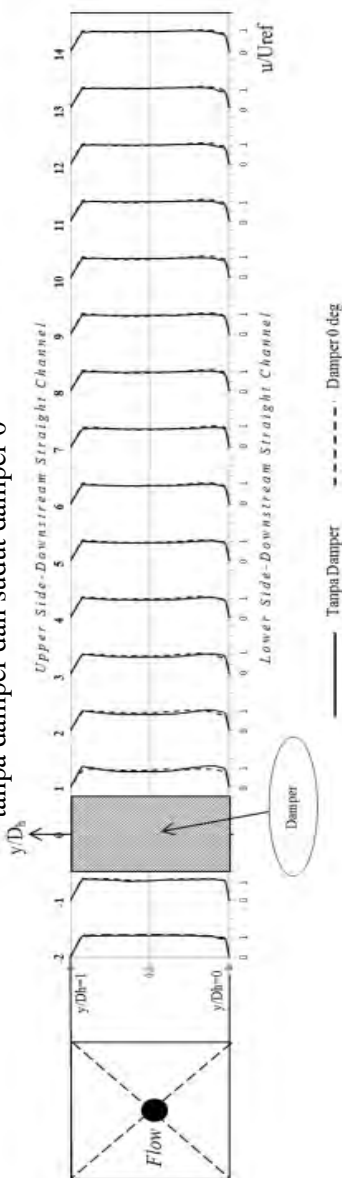


sisi *inner downstream straight channel* dan $z/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer downstream straight channel*. Pada gambar 4.3 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream straight channel* berupa grafik *velocity profile* pada bidang vertikal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan damper 0° . *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{u_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $y/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *lower downstream straight channel* dan $y/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *upper downstream straight channel*.

Pada gambar 4.3 secara umum menggambarkan bentuk profil kecepatan di sepanjang *downstream straight channel* pada bidang horizontal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan damper 0° yang mempunyai bentuk profil kecepatan hampir sama. Hal ini artinya tidak ada pengaruh dengan adanya sudut bukaan damper 0° yang dijelaskan sebagai berikut : saat meninggalkan *elbow*, profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $8D_h$ dari sisi *outlet elbow* 90° , pada *section -2* kecepatan pada sisi *outer* lebih besar dari pada sisi *inner*. Hal ini dipengaruhi adanya perbedaan tekanan antara sisi *inner* dan *outer*, pada sisi *inner* terjadi *backflow* karena adanya daerah separasi pada daerah *inner wall*. Pada daerah sebelum melewati *damper* terjadi kerugian energi kinetik (*kinetic energy losses*) yang disebabkan oleh terbentuknya aliran sekunder di sisi *inner elbow* sehingga terdapat *blockage effect* seperti pada gambar 4.3 *section -1*, akibatnya sebagian besar aliran akan mengalir pada sisi *outer* sehingga memiliki kecepatan yang lebih besar. Sampai pada jarak $4D_h$ setelah melalui *damper* terjadi *recovery* di sisi *centerline* masih ada aliran sekunder daerah *centerline* sehingga terjadi *blockage effect* seperti pada gambar 4.3 *section 2; 3; 9; 10* profil kecepatan sama sisi *inner* masih terdapat pengaruh aliran sekunder sebelumnya. Selanjutnya pada jarak $x/D_h = 8$ sampai 16 kedua



Gambar 4.3 Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada downstream straight channel tanpa damper dan sudut damper 0°



Gambar 4.4 Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada downstream straight channel tanpa damper dan sudut damper 0°



aliran tersebut sudah normal kembali seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 *section* 13 dan 14.

Pada gambar 4.4 secara umum menggambarkan bentuk profil kecepatan di sepanjang *downstream straight channel* pada bidang vertikal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 0° yang mempunyai bentuk profil kecepatan hampir sama artinya tidak ada pengaruh dengan adanya sudut bukaan *damper* 0° yang dijelaskan sebagai berikut: saat meninggalkan *elbow*, profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $5D_h$ dari sisi *outlet elbow* 90° , pada *section* -2 kecepatan pada sisi *upper* dan sisi *lower* hampir sama seperti pada gambar 4.4 *section* -2. Pada gambar 4.4 *section* -1 profil kecepatan pada daerah *centerline* mengalami sedikit perubahan yang disebabkan karena adanya gangguan *damper* sampai jarak $7D_h$ seperti pada gambar 4.4 *section* 1; 2; 3; 4; 5. Sampai pada jarak $8D_h$ setelah melalui *damper* terjadi *recovery* di sisi *centerline* dengan adanya perubahan profil kecepatan pada daerah *centerline* seperti pada gambar 4.4 *section* 6; 7; 8; 9. Selanjutnya pada jarak $x/D_h = 16$ kedua aliran tersebut sudah mendekati profil kecepatan normal kembali seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 *section* 14.

4.3. Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa *Damper* dengan Sudut Bukaan *Damper* 10° $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$

Pada gambar 4.5 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream straight channel* berupa grafik *velocity profile* pada bidang horizontal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 10° . *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat.

Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $z/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner downstream straight channel* dan $z/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer downstream straight channel*. Pada gambar 4.6 akan dibahas

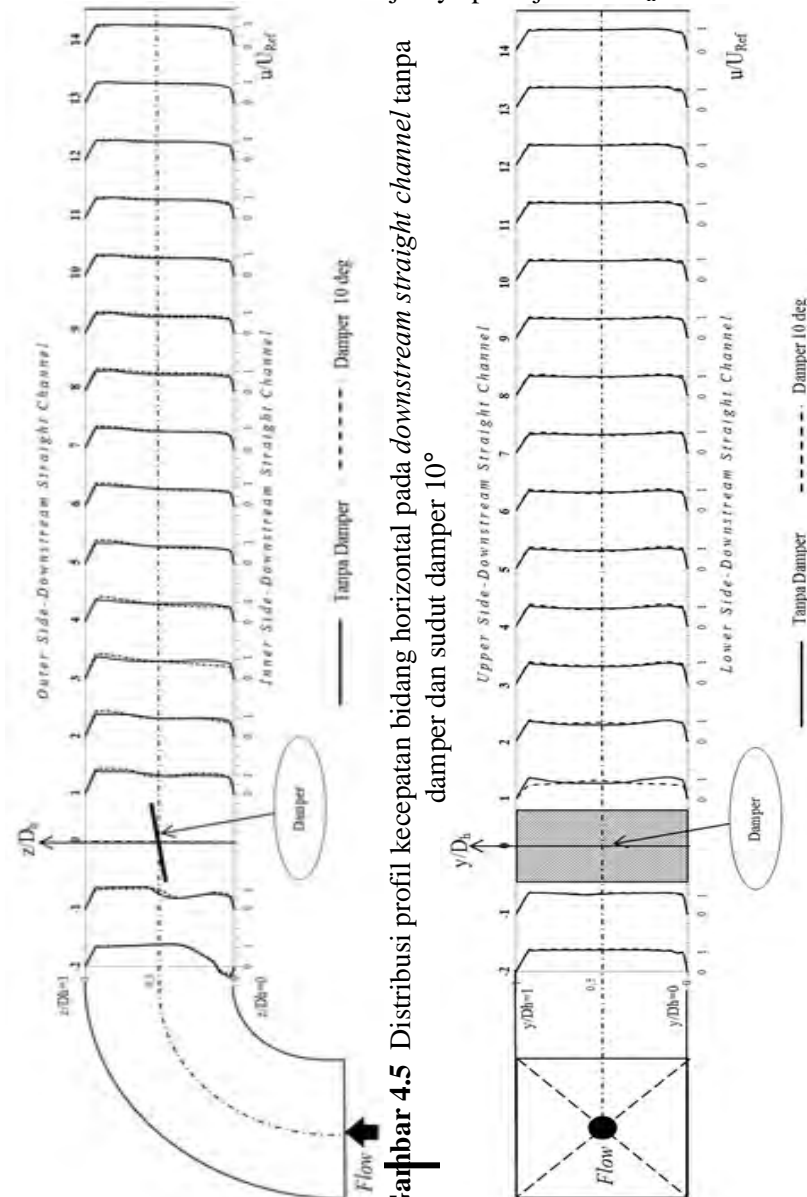


penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream straight channel* berupa grafik *velocity profile* pada bidang vertikal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 10° . *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $y/D_h=0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *lower downstream straight channel* dan $y/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *upper downstream straight channel*.

Pada gambar 4.5 secara umum menggambarkan bentuk profil kecepatan di sepanjang *downstream straight channel* pada bidang horizontal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 10° yang dijelaskan sebagai berikut: saat meninggalkan *outlet elbow* 90° , profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $10D_h$ dari sisi *outlet elbow* 90° , pada *section* -2 memiliki kecepatan yang sama pada sisi *outer* lebih besar dari pada sisi *inner*. Hal ini dipengaruhi oleh adanya perbedaan tekanan antara sisi *inner* dan *outer*, pada sisi *inner* terjadi *backflow* karena adanya daerah separasi pada daerah *inner wall* seperti pada gambar 4.5 *section* -2. Pada daerah *section* -1 terjadi kerugian energi kinetik (*kinetic energy losses*) yang disebabkan oleh terbentuknya aliran sekunder di sisi *inner elbow* sehingga terdapat *blockage effect* seperti pada gambar 4.5 *section* -1, akibatnya sebagian besar aliran akan mengalir pada sisi *outer* sehingga memiliki kecepatan yang lebih besar. Setelah melalui *damper* sejauh $13D_h$ dari *outlet elbow* 90° , *damper* dengan sudut bukaan 10° sisi *outer* memiliki kecepatan lebih besar daripada tanpa *damper*. Hal ini disebabkan karena bentuk penampang pada sisi *outer* yang dibentuk oleh *damper* dengan sudut bukaan 10° . Pada *section* 11 dan 12 bentuk profil kecepatan hampir sama antara tanpa *damper* dengan *damper* sudut bukaan 10° seperti pada gambar 4.5. *section* 11 dan 12 yaitu dengan bentuk profil



kecepatan hampir sama antara tanpa *damper* dengan *damper* sudut bukaan 10° . Selanjutnya pada jarak $x/D_h = 15$ dan 16 dari







outlet elbow 90° kedua aliran tersebut sudah hampir mengalami *recovery* profil kecepatan kembali seperti yang ditunjukkan gambar 4.5 *section 13* dan *14*.

Pada gambar 4.6 secara umum menggambarkan bentuk profil kecepatan di sepanjang *downstream straight channel* pada bidang vertikal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper 10°* yang mempunyai bentuk profil yang dijelaskan sebagai berikut : saat meninggalkan *outlet elbow 90°*, profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $10D_h$ dari sisi *outlet elbow 90°*, pada *section -2* dan *-1* mempunyai kecepatan yang sama antara tanpa *damper* dengan *damper sudut 10°* seperti pada gambar 4.6 *section -2* dan *-1*.

Pada gambar 4.6 *section 1* pada tanpa *damper* terjadi perubahan profil kecepatan yaitu adanya *blockage effect* pada daerah *centerline* akibat adanya sekunder setelah melalui *outlet elbow 90°*. Sedangkan pada *damper* dengan sudut bukaan 10° tidak terjadi perubahan profil kecepatan yang diakibatkan aliran sekunder setelah melalui *outlet elbow 90°*. Hal ini disebabkan karena adanya *damper* sebagai bodi pengganggu. Profil kecepatan pada daerah *centerline* mengalami sedikit perubahan pada *damper sudut bukaan 10°* yang disebabkan karena adanya gangguan *damper* sampai jarak $12D_h$ dari *outlet elbow 90°* seperti pada gambar 4.6 *section 2* sampai *9*. Pada tanpa *damper* dari *section 2* sampai *9* tidak terjadi perubahan profil kecepatan yang signifikan. Pada tanpa *damper* dan *damper* dengan sudut bukaan 10° jarak $13D_h$ dari *outlet elbow 90°* terjadi *recovery* di sisi *centerline* dengan adanya perubahan profil kecepatan pada daerah *centerline* seperti pada gambar 4.6 *section 10; 11; 12*. Selanjutnya pada jarak $x/D_h = 16$ dari *outlet elbow 90°* kedua aliran tersebut sudah hampir mengalami *recovery* profil kecepatan kembali seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 *section 13* dan *14*.



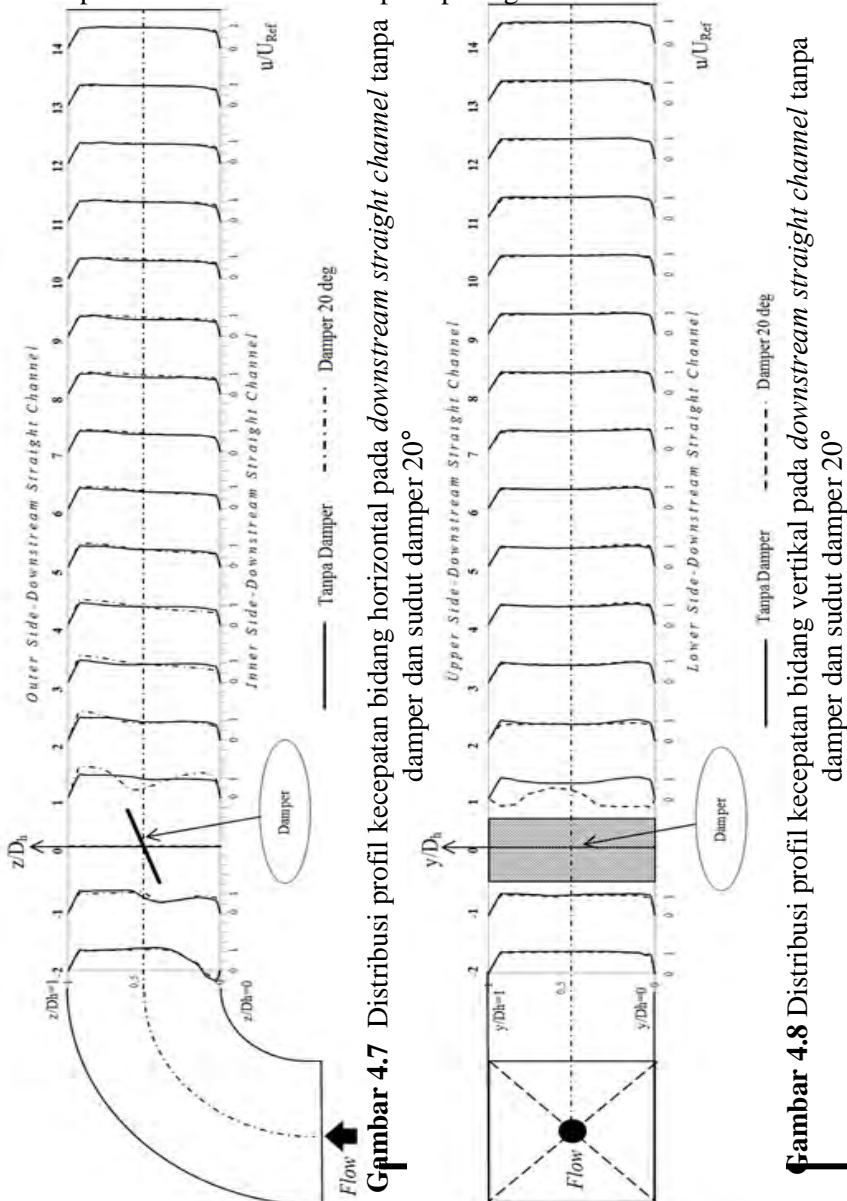
4.4. Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa *Damper* dengan Sudut Buka *Damper* 20° $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$

Pada gambar 4.7 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream straight channel* berupa grafik *velocity profile* pada bidang horizontal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 20°. *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $z/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner downstream straight channel* dan $z/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer downstream straight channel*. Pada gambar 4.8 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream straight channel* berupa grafik *velocity profile* pada bidang vertikal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 20°. *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $y/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *lower downstream straight channel* dan $y/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *upper downstream straight channel*.

Pada gambar 4.7 menggambarkan bentuk profil kecepatan di sepanjang *downstream straight channel* pada bidang horizontal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 20° yang dijelaskan sebagai berikut : saat meninggalkan *outlet elbow* 90°, profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $14D_h$ dari sisi *outlet elbow* 90°, pada *section* -2 memiliki kecepatan yang sama pada sisi *outer* lebih besar dari pada sisi *inner* . Hal ini dipengaruhi oleh adanya perbedaan tekanan antara sisi *inner* dan



outer, sisi inner terjadi *backflow* karena adanya daerah separasi pada daerah *inner wall* seperti pada gambar 4.2 section -2.





Pada daerah tanpa *damper section* -1 terjadi kerugian energi kinetik (*kinetic energy losses*) yang disebabkan oleh terbentuknya aliran sekunder di sisi *inner elbow* sehingga terdapat *blockage effect* seperti pada gambar 4.7 *section* -1, akibatnya sebagian besar aliran akan mengalir pada sisi *outer* sehingga memiliki kecepatan yang lebih besar. Sedangkan pada daerah *section* -1 dengan *damper* sudut bukaan *damper* 20° terjadi *blockage effect* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tanpa *damper*. Hal ini disebabkan oleh adanya *damper* sebagai bodi pengganggu seperti pada gambar 4.7 *section* -1. Pada jarak $4D_h$ dari *outlet elbow* 90° dengan *damper* sudut bukaan 10° terjadi perubahan profil kecepatan dengan kecepatan sisi *outer* lebih lebih besar daripada sisi *inner* hal ini disebabkan karena bentuk penampang *nozzle* pada daerah sisi *outer*. Pada daerah *centerline damper* sudut bukaan 20° terjadi *backflow* akibat daerah *wake* yang terjadi setelah adanya *damper* seperti pada gambar 4.7 *section* 1.

Pada tanpa *damper* hanya terjadi perubahan kecepatan sisi *outer* lebih besar daripada sisi *inner* yang disebabkan karena adanya aliran sekunder setelah melewati *outlet elbow* 90° tanpa terjadi *backflow* seperti pada gambar 4.7 *section* 1. Pada *section* 2 dengan *damper* bukaan 20° terjadi *recovery* profil kecepatan pada daerah *centerline*. Pada jarak $6D_h$ sampai $8D_h$ kecepatan sisi *outer damper* bukaan 20° lebih besar daripada tanpa *damper*. Sedangkan kecepatan pada sisi *inner damper* bukaan 20° lebih kecil daripada tanpa *damper*. Pada *section* 6 terjadi *recovery* kecepatan dengan profil kecepatan hampir sama antara tanpa *damper* dengan *damper* sudut bukaan 20° . Hal ini terjadi sampai *section* 11 seperti pada gambar 4.7 *section* 6 sampai 11. Selanjutnya pada jarak $x/D_h = 14$ sampai 16 dari *outlet elbow* 90° kedua aliran tersebut sudah hampir mengalami *recovery* profil kecepatan normal kembali seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 *section* 12; 13; 14.

Pada gambar 4.8 secara umum menggambarkan bentuk profil kecepatan di sepanjang *downstream straight channel* pada



bidang vertikal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 20° yang mempunyai bentuk profil yang dijelaskan sebagai berikut : saat meninggalkan *outlet elbow* 90° , profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $6D_h$ dari sisi *outlet elbow* 90° , pada *section* -2 dan -1 mempunyai profil kecepatan yang sama antara tanpa *damper* dengan *damper* sudut bukaan 20° seperti pada gambar 4.8 *section* -2; -1. Pada gambar 4.8 *section* 1 pada tanpa *damper* terjadi perubahan profil kecepatan yaitu terjadi *blockage effect* pada daerah *centerline* akibat adanya aliran sekunder setelah melalui *outlet elbow* 90° . Sedangkan pada *damper* dengan sudut bukaan 20° terjadi perubahan profil kecepatan yang disebabkan karena adanya *damper* sebagai bodi pengganggu. Profil kecepatan pada daerah sisi *upper* dan sisi *lower* terjadi *backflow* seperti pada gambar 4.8 *section* 1 *damper* 20° .

Pada *section* 2 *damper* sudut bukaan 20° terjadi *recovery* profil kecepatan dengan sudah tidak terjadi *backflow* pada sisi *upper* dan sisi *lower*. Pada sisi *upper* dan sisi *lower* tanpa *damper* memiliki kecepatan lebih besar dibandingkan pada sisi *upper* dan sisi *lower* *damper* sudut bukaan 20° seperti pada gambar 4.8 *section* 2. Pada daerah jarak $x/D_h = 6$ sampai 12 profil kecepatan relatif sama antara tanpa *damper* dengan *damper* sudut bukaan 20° seperti gambar 4.8 *section* 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9. Selanjutnya pada jarak $x/D_h = 13$ dari *outlet elbow* 90° kedua aliran tersebut sudah hampir kembali mengalami *recovery* profil kecepatan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8 *section* 10; 11; 12; 13; 14.

4.5. Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal Tanpa *Damper* dengan Sudut Bukaan *Damper* 30° $Re_{Dh} = 7,88 \times 10^4$

Pada gambar 4.9 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream straight channel* berupa grafik *velocity profile* pada bidang horizontal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 30° . *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang



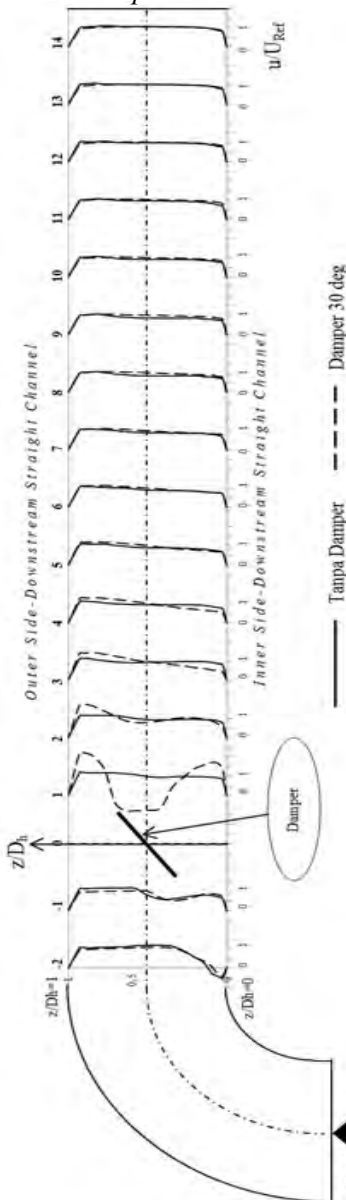
bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{u_{ref}}$ pada ordinat.

Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $z/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner downstream straight channel* dan $z/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer downstream straight channel*. Pada gambar 4.10 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream straight channel* berupa grafik *velocity profile* pada bidang vertikal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 30° . *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{u_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $y/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *lower downstream straight channel* dan $y/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *upper downstream straight channel*.

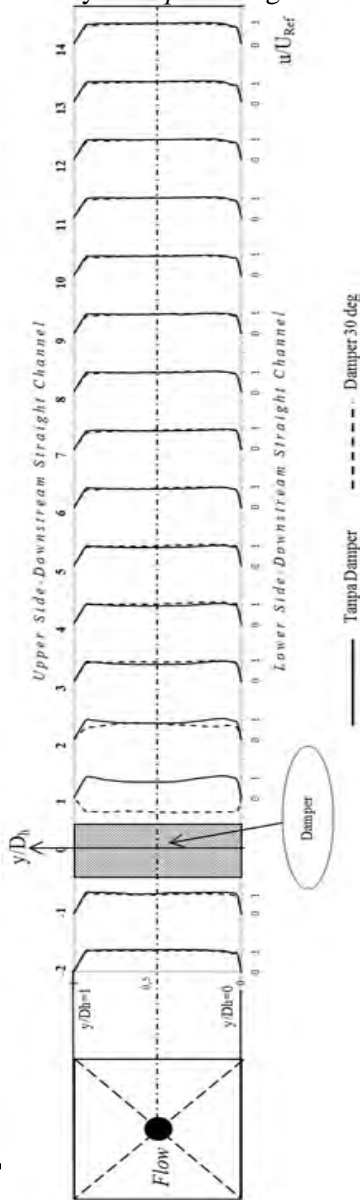
Pada gambar 4.9 secara umum menggambarkan bentuk profil kecepatan di sepanjang *downstream straight channel* pada bidang horizontal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 30° yang dijelaskan sebagai berikut: saat meninggalkan *outlet elbow* 90° , profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $14D_h$ dari sisi *outlet elbow* 90° , pada *section -2* memiliki kecepatan yang sama pada sisi *outer* lebih besar dari pada sisi *inner*. Hal ini dipengaruhi oleh adanya perbedaan tekanan antara sisi *inner* dan *outer*, pada sisi *inner* terjadi aliran *backflow* karena adanya daerah separasi pada daerah *inner wall* seperti pada gambar 4.9 *section -2*. Pada daerah tanpa *damper* *section 1* terjadi kerugian energi kinetik (*kinetic energy losses*) yang disebabkan oleh terbentuknya aliran sekunder di sisi *inner elbow* sehingga terdapat *blockage effect* seperti pada gambar 4.9 *section -1*, akibatnya sebagian besar aliran akan mengalir pada sisi *outer* sehingga memiliki kecepatan yang lebih besar. Sedangkan pada daerah *section -1* dengan *damper* sudut bukaan 30° terjadi



blockage effect yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tanpa damper. Hal ini disebabkan oleh adanya *damper* sebagai bodi



Gambar 4.9 Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada *downstream straight channel* tanpa damper dan sudut damper 30°



Gambar 4.10 Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada *downstream straight channel* tanpa damper dan sudut damper 30°



pengganggu seperti pada gambar 4.9 *section* -1. Pada jarak $4D_h$ dari *outlet elbow* 90° pada *damper* sudut bukaan 30° terjadi perubahan profil kecepatan dengan kecepatan sisi *outer* lebih besar daripada sisi *inner* hal ini disebabkan karena bentuk penampang *nozzle* pada daerah sisi *outer*. Pada daerah *centerline damper* sudut bukaan 30° terjadi *backflow* akibat daerah *wake* yang terjadi setelah adanya *damper* seperti pada gambar 4.9 *section* 1. Pada tanpa *damper* hanya terjadi perubahan kecepatan sisi *outer* lebih besar daripada sisi *inner* yang disebabkan karena adanya aliran sekunder setelah melewati *outlet elbow* 90° tanpa terjadi *backflow* seperti pada gambar 4.9 *section* 1.

Pada *section 2 damper* bukaan 20° terjadi *recovery* profil kecepatan pada daerah *centerline*. Pada jarak $5D_h$ sampai $9D_h$ kecepatan sisi *outer damper* bukaan 30° lebih besar daripada tanpa *damper*. Sedangkan kecepatan pada sisi *inner damper* bukaan 30° lebih kecil daripada tanpa *damper*. Pada *damper* 30° *section 7* terjadi *recovery* daerah *centerline* sedangkan pada tanpa *damper* belum terjadi *recovery* profil kecepatan seperti pada gambar 4.9 *section* 7. Hal ini terjadi sampai jarak $15D_h$ dari *outlet elbow* 90° . Selanjutnya pada jarak $x/D_h = 16$ dari *outlet elbow* 90° kedua aliran tersebut sudah mengalami *recovery* profil kecepatan kembali seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9 *section* 14.

Pada gambar 4.10 secara umum menggambarkan bentuk profil kecepatan di sepanjang *downstream straight channel* pada bidang vertikal dengan tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 30° yang mempunyai bentuk profil yang dijelaskan sebagai berikut : saat meninggalkan *outlet elbow* 90° , profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $11D_h$ dari sisi *outlet elbow* 90° , pada *section* -2 dan -1 mempunyai profil kecepatan yang sama antara tanpa *damper* dengan *damper* sudut bukaan 30° seperti pada gambar 4.10 *section* -2; -1. Pada gambar 4.10 *section* 1 pada tanpa *damper* terjadi perubahan profil kecepatan yaitu terjadi *blockage effect* pada daerah *centerline* akibat adanya aliran sekunder setelah melalui *outlet elbow* 90° . Sedangkan pada



damper dengan sudut bukaan 30° terjadi perubahan profil kecepatan yang disebabkan karena adanya *damper* sebagai bodi pengganggu. Profil kecepatan terjadi *backflow* seperti pada gambar 4.10 *section 1 damper* 30° . Pada *section 2 damper* 30° terjadi *recovery* profil kecepatan dengan sudah tidak terjadi *backflow*. Pada sisi *upper* dan sisi *lower* tanpa *damper* memiliki kecepatan lebih besar dibandingkan pada sisi *upper* dan sisi *lower damper* sudut bukaan 30° seperti pada gambar 4.10 *section 2*. Pada daerah jarak $x/D_h = 12$ sampai 16 profil kecepatan relatif sama antara tanpa *damper* dengan *damper* sudut bukaan 30° seperti gambar 4.10 *section 9; 10; 11; 12; 13*. Selanjutnya pada jarak $x/D_h = 16$ dari *outlet elbow* 90° kedua aliran tersebut sudah normal kembali tetapi kecepatan yang terjadi lebih tinggi dibandingkan kecepatan pada sisi *inlet upstream* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10 *section 14*.

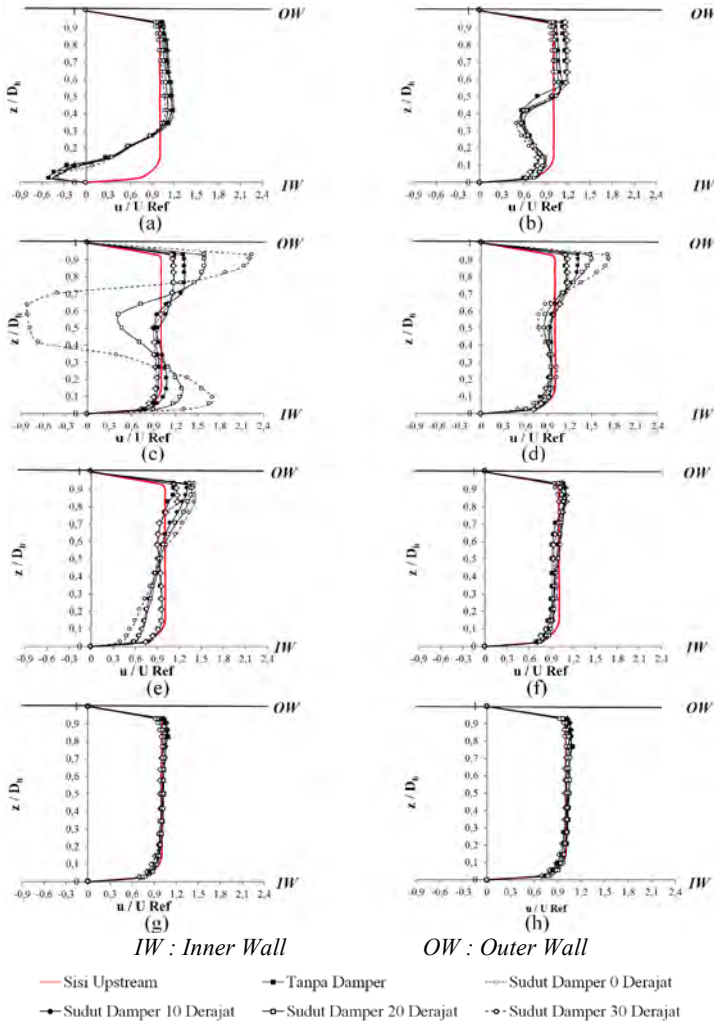
4.6. Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Bidang Vertikal dan Bidang Horizontal Tanpa *Damper* dengan Sudut Bukaan *Damper* 0° , 10° , 20° dan 30° $Re_{D_h} = 7,88 \times 10^4$

Pada sub bab ini menjelaskan gambaran umum distribusi *velocity profile* pada bidang horizontal dan vertikal beserta kontur yang mewakili besar kecepatan sepanjang aliran *downstream straight channel* pada bidang horizontal dan vertikal seperti pada gambar 4.11; 4.12.

Pada gambar 4.11 akan dibahas penjelasan analisa tentang bagaimana perilaku aliran dua dimensi sepanjang *downstream straight channel* berupa grafik *velocity profile* pada bidang horizontal. *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $z/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner downstream straight channel* dan $z/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer downstream straight channel*. Untuk lebih detail, maka



dijelaskan dalam grafik perbandingan antara tanpa damper dengan sudut bukaan damper 0° , 10° , 20° dan 30° seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4.11. Grafik velocity profile bidang horizontal pada masing-masing posisi cross-section berdasarkan test section :



a) -2; b) -1; c) 1; d) 2; e) 3; f) 10 ;g) 13; h) 14

Pada gambar 4.11 secara umum menggambarkan bentuk profil kecepatan pada bidang horizontal di sepanjang *downstream straight channel* yang dijelaskan sebagai berikut : saat meninggalkan *outlet elbow 90°*, profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $8D_h$ dari sisi *outlet elbow 90°*, seperti pada gambar 4.11.(a) kecepatan pada sisi *outer* lebih besar dari pada sisi *inner*. Hal ini dipengaruhi oleh adanya perbedaan tekanan antara sisi *inner* dan *outer*, pada sisi *inner* terjadi *backflow* karena adanya daerah separasi pada daerah *inner wall*. Saluran tanpa damper mempunyai *backflow* lebih tinggi karena titik separasi terjadi lebih cepat. Sedangkan pada saluran yang menggunakan damper dengan sudut bukaan 30° mempunyai *backflow* yang paling rendah karena tertundanya titik separasi. Pada daerah sebelum melewati *damper* terjadi kerugian energi kinetik (*kinetic energy losses*) yang disebabkan oleh terbentuknya aliran sekunder di sisi *inner elbow* sehingga terdapat *blockage effect*, akibatnya sebagian besar aliran akan mengalir pada sisi *outer* sehingga memiliki kecepatan yang lebih besar. Profil kecepatan paling tinggi pada sisi *outer* terjadi pada damper dengan sudut bukaan 0° sedangkan profil kecepatan paling rendah pada sisi *outer* terjadi pada damper dengan sudut bukaan 30° . Pada sisi *inner* kecepatan tertinggi terjadi pada damper dengan sudut bukaan 20° dan kecepatan terendah terjadi pada tanpa damper seperti pada gambar 4.11.(b).

Ketika aliran terganggu oleh *damper* seperti pada gambar 4.11.(c), terdapat perbedaan yang signifikan pada tanpat damper dengan semua variasi sudut *damper*, pada sudut 30° terjadi percepatan pada sisi *outer* paling tinggi, hal ini disebabkan karena adanya penyempitan luas penampang pada sisi *outer* dan sebagian aliran yang mengalir pada sisi *outer wall* memiliki kecepatan yang tinggi dan pada *centerline* terjadi *back flow* karena adanya daerah *wake* dibelakang *damper*. Pengaruh adanya *wake* juga terjadi pada *damper* sudut bukaan 20° tetapi tidak sampai terjadi *backflow*. Sedangkan pada saluran tanpa damper



sisi yang memiliki kecepatan lebih tinggi juga terdapat pada sisi *outer*, disebabkan pada sisi *inner* masih terdapat pengaruh aliran sekunder sebelumnya. Sampai pada jarak $4D_h$ dari *outlet elbow* 90° masih ada aliran sekunder pada daerah *centerline* sehingga terjadi *blockage effect* pada saluran tanpa damper dan semua variasi sudut bukaan damper seperti pada gambar 4.11. (d), pada sudut 20° dan 30° terjadi *blockage effect* pada *centerline* yang terbentuk oleh pengaruh daerah *wake* dan kecepatan sisi *outer* lebih besar daripada sisi *inner*. Sedangkan pada tanpa *damper* dan sudut bukaan 0° sisi yang memiliki kecepatan lebih tinggi adalah sisi *outer*, hal ini disebabkan pada sisi *inner* masih terdapat pengaruh aliran sekunder sebelumnya.

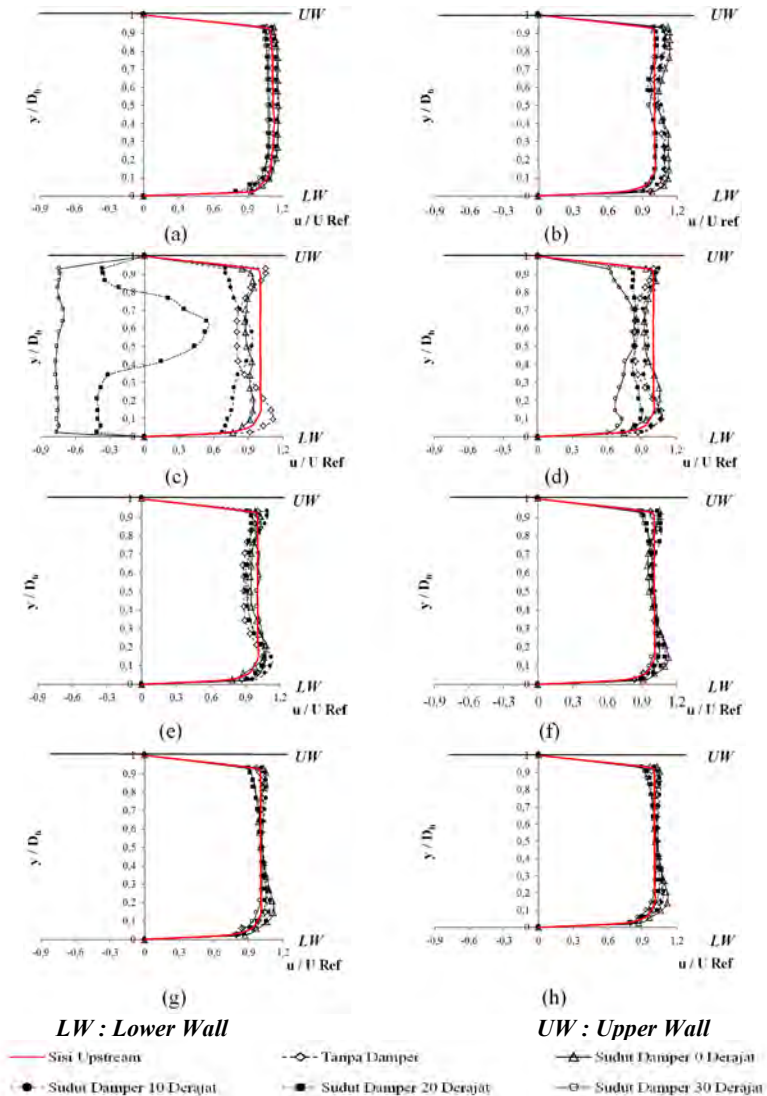
Pada jarak $5D_h$ pada sisi *outer* dengan sudut bukaan *damper* 30° mempunyai nilai kecepatan yang paling tinggi jika dibandingkan dengan tanpa *damper* dan variasi sudut bukaan *damper* lainnya. Pada sisi *inner* sudut bukaan damper 30° mempunyai nilai kecepatan yang paling rendah jika dibandingkan dengan tanpa damper dan variasi sudut bukaan damper lain nya. Hal ini masih disebabkan masih adanya pengaruh bentuk penampang yang dibentuk oleh *damper* pada sisi *outer* dan sisi *inner*. Setelah melalui *damper* sejauh $9D_h$ terjadi *recovery* di sisi *outer*, sisi *centerline* dan sisi *inner*, terlihat pada gambar 4.11. (f). Selanjutnya pada jarak $x/D_h = 13$ sampai 15 dari *outlet elbow* 90° semua aliran tersebut sudah normal kembali seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.11.(g). Pada $x/D_h = 16$ dengan *damper* sudut bukaan 30° aliran sudah mengalami *recovery* profil kecepatan seperti profil kecepatan bidang horizontal sisi *inlet upstream* seperti pada gambar 4.11.(h).

Dari gambar 4.12 dibahas penjelasan analisa bagaimana perilaku aliran secara dua dimensi pada bidang vertikal sepanjang *downstream straight channel* berupa grafik *velocity profile*. Grafik *velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan $\frac{u}{U_{ref}}$ pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai



$y/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *lower*, sedangkan $y/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *upper*, agar lebih jelas ditunjukkan grafik perbandingan antara tanpa *damper* dengan sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° dan 30° seperti pada gambar 4.12.

Pada gambar 4.12 secara umum bentuk profil kecepatan pada bidang vertikal di sepanjang sisi *downstream straight channel* dijelaskan sebagai berikut: saat keluar *elbow* 90° , profil kecepatan sudah mengalami perkembangan sejauh $10D_h$ dari *outlet elbow* 90° , seperti pada gambar 4.12.(a) kecepatan pada sudut bukaan *damper* 0° lebih besar daripada sudut bukaan *damper* 10° , 20° , 30° dan tanpa *damper*. Hal ini disebabkan pada sudut bukaan *damper* 10° , 20° dan 30° terdapat *damper* sebagai bodi pengganggu yang memperlambat kecepatan aliran sampai daerah *section* -1 seperti pada gambar 4.12.(b). Pada jarak $x/D_h = 3$ dari *outlet elbow* 90° , sesudah melewati *damper* terjadi *backflow* pada sudut bukaan *damper* 20° dan 30° karena adanya *blockage effect* yang menyebabkan timbulnya daerah *wake* pada *section* 1 sedangkan pada tanpa *damper* dan *damper* sudut bukaan 0° dan 10° tidak terjadi *backflow* karena belum ada pengaruh adanya *damper* sebagai bodi pengganggu seperti yang ditunjukan gambar 4.12.(c). Pada *section* $x/D_h = 4$ kecepatan aliran pada sudut *damper* 0° masih lebih besar daripada kecepatan aliran pada sudut bukaan *damper* 10° , 20° dan 30° . Hal ini disebabkan karena adanya *damper* sebagai bodi pengganggu pada sudut bukaan *damper* 10° , 20° dan 30° sehingga kecepatan aliran terhambat dan kecepatan aliran pada sudut bukaan *damper* 10° , 20° dan 30° lebih rendah daripada kecepatan aliran pada sudut bukaan *damper* 0° dimana kecepatan aliran tidak terlalu dipengaruhi oleh adanya *damper* sebagai bodi pengganggu seperti yang ditunjukan gambar 4.12.(d).



Gambar 4.12. Grafik *velocity profile* bidang vertikal pada masing-masing posisi *cross-section* berdasarkan *test section* :

a) -2; b) -1; c) 1; d) 2; e) 3; f) 10; g) 13; h) 14



Setelah melalui *damper* sejauh $5D_h$ terjadi *recovery* kecepatan aliran pada sudut bukaan *damper* 10° , 20° dan 30° , sedangkan pada tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 0° belum terjadi *recovery* kecepatan aliran pada daerah *centerline* yang disebabkan masih adanya aliran sekunder yang terjadi seperti pada gambar 4.12. (e). Selanjutnya pada jarak $x/D_h=11$ sampai 16 kecepatan aliran pada sudut bukaan *damper* 30° tersebut sudah normal kembali tetapi profil kecepatan lebih tinggi daripada profil kecepatan pada sisi *inlet upstream* bidang vertikal. Sedangkan pada kecepatan aliran pada tanpa *damper* dan sudut bukaan *damper* 0° , 10° dan 20° sampai jarak $x/D_h = 16$ belum normal kembali. Kecepatan aliran pada sudut bukaan *damper* 0° , 10° dan 20° belum normal kembali disebabkan karena masih adanya dampak aliran sekunder yang terjadi pada saluran searah bidang sejajar dengan *damper* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.12. (f); (g); (h).

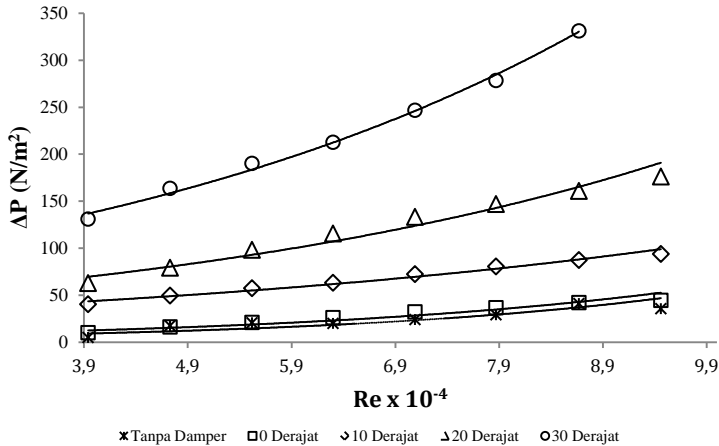
4.7. Pressure Drop pada Square Duct dengan Square Elbow 90° Fungsi Reynolds Number dengan Variasi Tanpa Damper dan Sudut Bukaan Damper 0° , 10° , 20° , 30°

Eksperimen ini menggunakan *duct* dengan *elbow* 90° berpenampang *square*. Dengan penampang *test section* ini, terdapat kesempatan untuk mengamati berbagai macam karakter aliran fluida dan salah satunya adalah *pressure drop*. *Pressure drop* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik ke titik lain dalam saluran. *Pressure drop* didapat karena adanya gaya gesek atau gaya hambat terhadap fluida ketika mengalir melintasi saluran. Pada eksperimen ini, *pressure drop* didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap inlet upstream straight channel* dan *pressure tap outlet* yang terdapat pada *downstream straight channel* dengan jarak $16D_h$ dari *outlet elbow* 90° .

Pada sub bab ini akan ditampilkan dan dijelaskan karakteristik *pressure drop* pada *square duct* dengan *square elbow* 90° . Grafik dari nilai *pressure drop* dengan variasi



Reynolds number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi tanpa damper sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° dan 30° ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13. *Pressure drop* pada *square duct* dengan *square elbow* 90° dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ dan variasi sudut bukaan *damper* $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30°

Dari gambar 4.13. dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya *Reynolds number* maka akan semakin meningkat pula *pressure drop* yang terjadi pada masing-masing sudut bukaan *damper*. Sehingga dapat dikatakan jika kecepatan dari suatu fluida meningkat, maka *pressure drop* akan meningkat. Hal ini dapat disebabkan oleh *headloss* yang semakin besar, sesuai dengan perumusan sebagai berikut :

$$\frac{P_{14}}{\rho} + \frac{\bar{V}_{14}^2}{2} + gz_{14} = \frac{P_{inlet}}{\rho} + \frac{\bar{V}_{inlet}^2}{2} + gz_{inlet} + h_{IT} \quad (4.1)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = h_{IT} = h_l + h_{lm} \quad (4.2)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{\bar{V}^2}{2} \left(f \frac{L_{upstream}}{D_h} + f \frac{L_{downstream}}{D_h} + k_{elbow\ 90^\circ} + k_{damper} \right) \quad (4.3)$$



Dengan adanya *dampers* pada saluran, akan menaikkan *free stream* dari udara yang mengalir dikarenakan adanya pengaruh *blockage ratio*. Semakin besar *blockage ratio* yang terjadi, maka kecepatan *freestream* lebih cepat dari kecepatan sebenarnya karena adanya penyempitan area yang dilalui oleh fluida.

Dari grafik gambar 4.13. dapat dilihat bahwa dengan adanya *dampers* sebagai bodi pengganggu menghasilkan nilai *pressure drop* yang lebih besar dengan semakin meningkatnya *Reynolds number* pada setiap sudut bukaan *dampers*. Pada setiap variasi bukaan *dampers*, *pressure drop* mengalami kenaikan secara signifikan dengan semakin bertambahnya *Reynolds number*. Pada sudut bukaan *dampers* 0° mempunyai *trendline* grafik meningkat mulai dari *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$ sampai dengan *Reynolds number* 10^5 . *Trendline* grafik meningkat ini juga terjadi pada sudut bukaan *dampers* 10° , 20° dan 30° mulai dari *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$ sampai dengan *Reynolds number* 10^5 . Hal ini dapat sesuai dengan perumusan 4.3, yaitu ketika kecepatan aliran yang melintasi saluran meningkat maka nilai *pressure drop* akan meningkat. Dari seluruh variasi sudut bukaan *dampers*, dapat dilihat bahwa pada sudut bukaan *dampers* 0° memiliki *pressure drop* paling rendah dengan persentase kenaikan *pressure drop* sebesar 18,76% pada setiap variasi *Reynolds number*, sedangkan pada sudut bukaan *dampers* 30° memiliki *pressure drop* paling tinggi dengan persentase kenaikan *pressure drop* sebesar 12,24% pada setiap variasi *Reynolds number*.

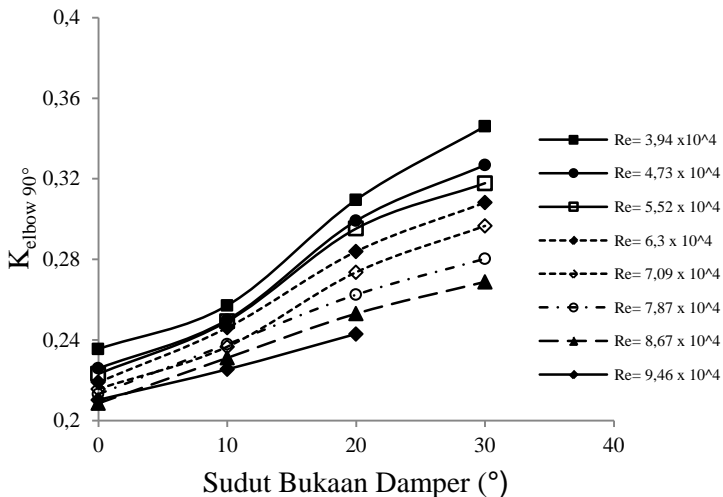
4.8. Koefisien Losses Elbow 90° pada Square Duct dengan Square Elbow 90° Fungsi Reynolds Number dan Variasi Sudut Bukaan Damper 0° , 10° , 20° dan 30°

Pemasangan *elbow 90°* akan mengakibatkan koefisien losses *elbow 90°* pada saluran. Koefisien losses *elbow 90°* adalah nilai konstanta yang menentukan besar kecil *head loss minor elbow 90°* akibat pemasangan sebuah *elbow 90°* . Pada eksperimen



ini, koefisien losses elbow 90° didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap inlet elbow 90°* dan *pressure tap outlet elbow 90° (section -1)* yang terdapat pada *downstream straight channel*.

Pada sub bab ini akan ditampilkan dan dijelaskan karakteristik koefisien losses elbow 90° pada *square duct* dengan *square elbow 90°* . Grafik dari nilai koefisien losses elbow 90° fungsi variasi Reynolds number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) dengan variasi sudut bukaan damper 0° , 10° , 20° dan 30° ditunjukkan pada gambar 4.14.



Gambar 4.14. Koefisien losses elbow 90° pada *square duct* dengan *square elbow 90°* fungsi variasi sudut bukaan damper $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30° dengan variasi Reynolds number $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$

Pada grafik gambar 4.14. dapat dilihat bahwa dengan adanya elbow 90° menghasilkan nilai koefisien losses elbow 90°



yang lebih besar dengan semakin besarnya sudut bukaan damper pada setiap variasi *Reynolds number*. Pada setiap variasi *Reynolds number*, nilai koefisien losses elbow 90° mengalami kenaikan dengan semakin bertambahnya besar sudut bukaan damper. Pada *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$, mempunyai trendline grafik meningkat mulai dari sudut bukaan damper 0° sampai dengan sudut bukaan damper 30° . Trendline grafik meningkat ini juga terjadi pada setiap variasi nilai *Reynolds* mulai dari *Reynold number* $3,94 \times 10^4$ sampai dengan *Reynolds number* 10^5 . Dari seluruh variasi *Reynolds number*, dapat dilihat bahwa pada *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$ memiliki nilai koefisien losses elbow 90° paling tinggi dengan persentase kenaikan 11,95% pada setiap variasi sudut bukaan damper, sedangkan pada *Reynolds number* $9,46 \times 10^4$ memiliki nilai koefisien losses elbow 90° paling rendah dengan persentase kenaikan 6,97% pada setiap variasi sudut bukaan damper.

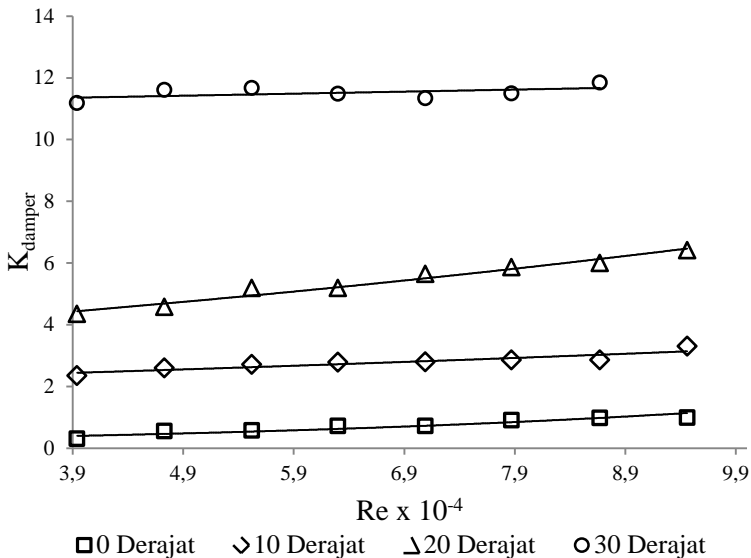
4.9. Koefisien Losses Damper pada Square Duct dengan Square Elbow 90° Fungsi Reynolds Number dan Variasi Sudut Bukaan Damper 0° , 10° , 20° dan 30°

Eksperimen ini menggunakan duct elbow 90° berpenampang square dengan dipasang sebuah damper pada jarak $2D_h$ dari outlet elbow 90° . Pemasangan damper akan mengakibatkan koefisien losses damper pada saluran. Koefisien losses damper adalah nilai konstanta yang menentukan besar kecil headloss minor damper akibat pemasangan sebuah damper. Pada eksperimen ini, koefisien losses damper didapatkan dari data perbedaan tekanan dari pressure tap inlet sebelum damper (section -1) dan sesudah damper (section 1) yang terdapat pada downstream straight channel.

Pada sub bab ini akan ditampilkan dan dijelaskan karakteristik koefisien losses damper pada square duct dengan square elbow 90° . Grafik dari nilai koefisien losses damper fungsi variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s)



dengan variasi sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° dan 30° ditunjukkan pada gambar 4.15. dan Grafik dari nilai koefisien *losses damper* fungsi variasi sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° dan 30° dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) ditunjukkan pada gambar 4.16.



Gambar 4.15. Koefisien *losses damper* pada *square duct* dengan *square elbow* 90° fungsi variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$ dengan variasi sudut bukaan *damper* $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30°

Dari gambar 4.15. dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya *Reynolds number* maka akan semakin meningkat pula nilai koefisien *losses damper* yang terjadi pada masing-masing sudut bukaan *damper*. Sehingga dapat dikatakan jika kecepatan dari suatu fluida meningkat, maka koefisien *losses damper* akan meningkat. Hal ini dapat disebabkan oleh *headloss*



minor yang semakin besar, sesuai dengan perumusan sebagai berikut :

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{\bar{V}_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_{-1}}{\rho} + \frac{\bar{V}_{-1}^2}{2} + gz_{-1} + h_{lm} \quad (4.4)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = h_{damper} \quad (4.5)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = k_{damper} \left(\frac{\bar{V}^2}{2} \right) \quad (4.6)$$

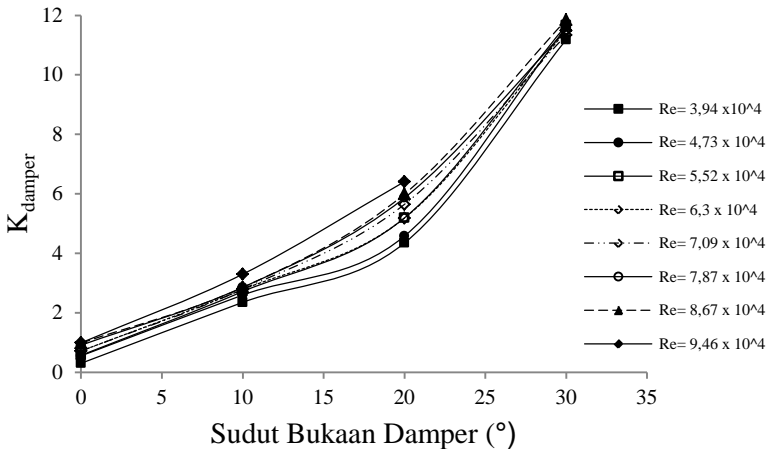
$$k_{damper} = \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot \bar{V}^2} \quad (4.7)$$

Dari grafik gambar 4.15. dapat dilihat bahwa dengan adanya *damper* sebagai bodi pengganggu menghasilkan nilai koefisien *losses damper* yang lebih besar dengan semakin meningkatnya *Reynolds number* pada setiap sudut bukaan *damper*. Pada sudut bukaan *damper* 0° mempunyai *trendline* grafik meningkat mulai dari *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$ sampai dengan *Reynolds number* 10^5 . *Trendline* grafik meningkat ini juga terjadi pada sudut bukaan *damper* 10°, 20° dan 30° mulai dari *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$ sampai dengan *Reynolds number* 10^5 . Hal ini sesuai dengan perumusan 4.7, yaitu ketika kecepatan aliran yang melintasi saluran meningkat maka nilai *pressure drop* akan meningkat. Kemudian dengan semakin meningkatnya *pressure drop* maka nilai koefisien *losses damper* akan semakin meningkat. Dari seluruh variasi sudut bukaan *damper*, dapat dilihat bahwa pada sudut bukaan *damper* 0° memiliki nilai koefisien *losses damper* paling rendah dengan persentase kenaikan koefisien *losses damper* sebesar 14,03% *Reynolds number*, sedangkan pada sudut bukaan *damper* 30° memiliki nilai koefisien *losses damper* paling tinggi rendah dengan persentase kenaikan koefisien *losses damper* sebesar 0,94% pada setiap variasi *Reynolds number*.

Pada grafik gambar 4.16. dapat dilihat bahwa dengan adanya *damper* sebagai bodi pengganggu menghasilkan nilai koefisien *losses damper* yang lebih besar dengan semakin besarnya sudut bukaan *damper* pada setiap variasi *Reynolds*



number. Pada setiap variasi *Reynolds number*, nilai koefisien losses damper mengalami kenaikan dengan semakin bertambahnya besar sudut bukaan damper. Pada *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$, mempunyai *trendline* grafik meningkat mulai dari sudut bukaan damper 0° sampai dengan sudut bukaan damper 30° . *Trendline* grafik meningkat ini juga terjadi pada setiap variasi *Reynolds number* mulai dari *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$ sampai dengan *Reynolds number* 10^5 .



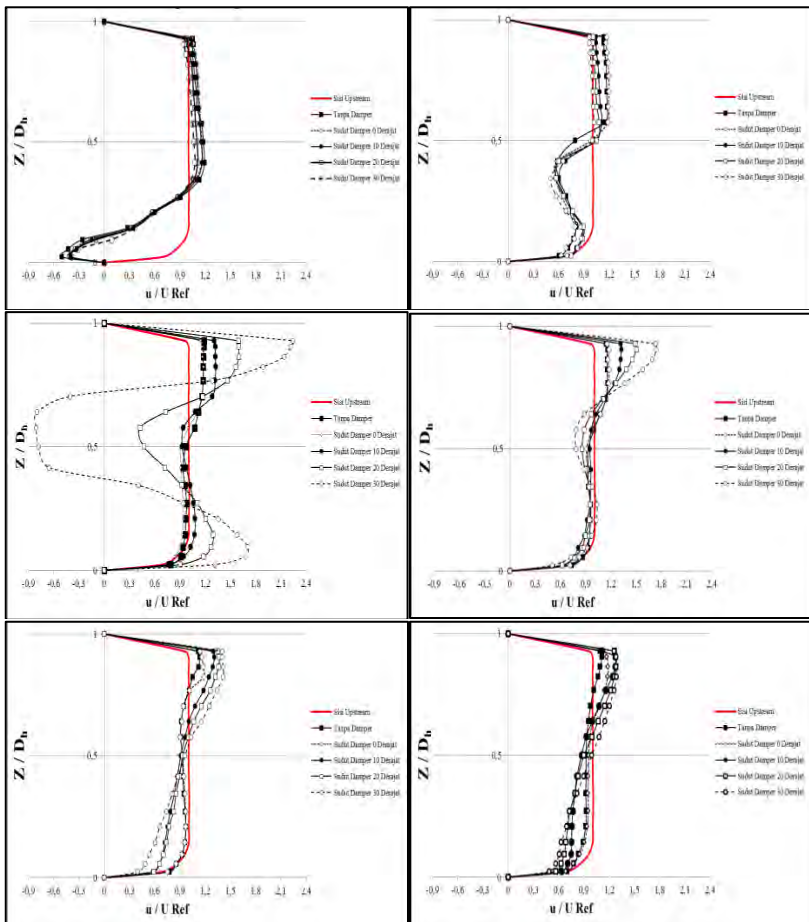
Gambar 4.16. Koefisien losses damper pada square duct dengan square elbow 90° fungsi variasi sudut bukaan damper $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30° dengan variasi *Reynolds number* $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 10^5$

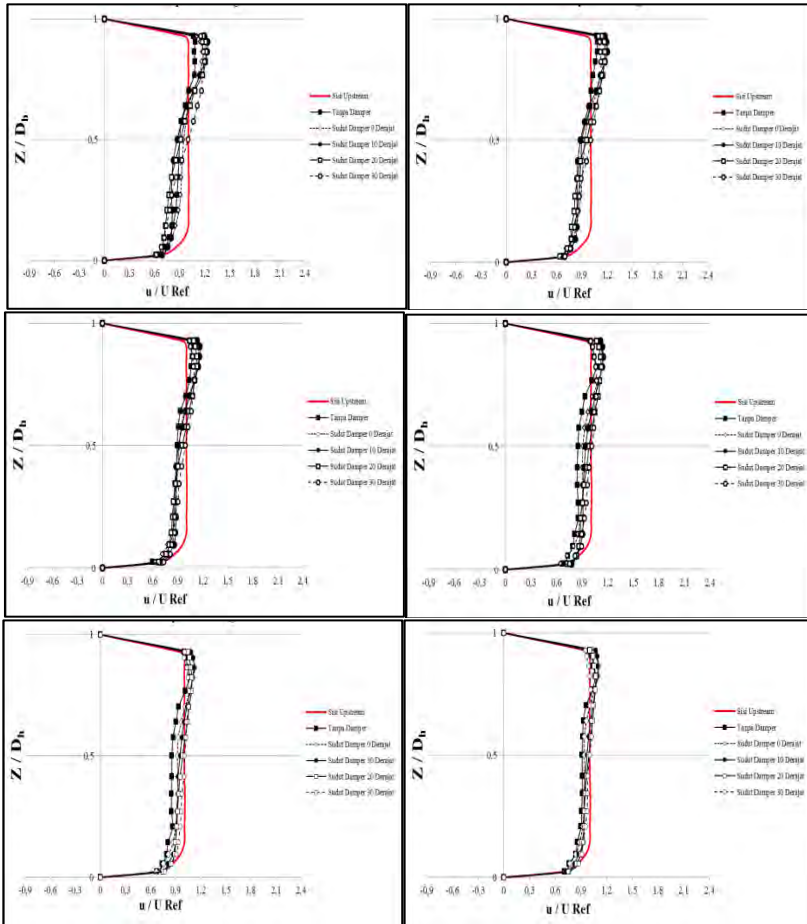
Hal ini dapat juga sesuai dengan perumusan 4.7, yaitu ketika kecepatan aliran yang melintasi saluran meningkat maka nilai koefisien losses damper akan meningkat. Dari seluruh variasi *Reynolds number*, dapat dilihat bahwa pada *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$ memiliki nilai koefisien losses damper paling rendah dengan persentase kenaikan koefisien losses damper sebesar 64,71% pada setiap variasi sudut bukaan damper, sedangkan pada *Reynolds number* $9,46 \times 10^4$ memiliki nilai koefisien losses damper paling tinggi dengan persentase kenaikan

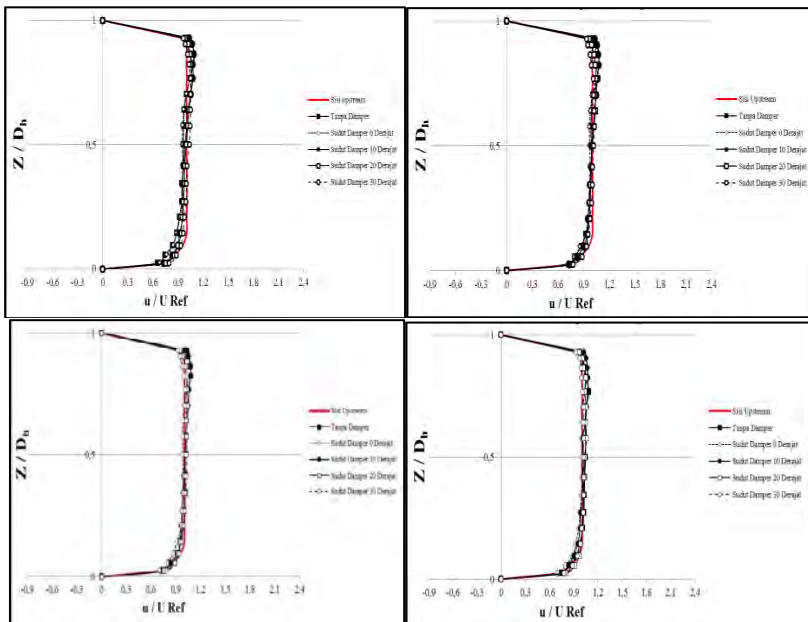


koefisien losses damper sebesar 59,24% pada setiap variasi sudut bukaan damper.

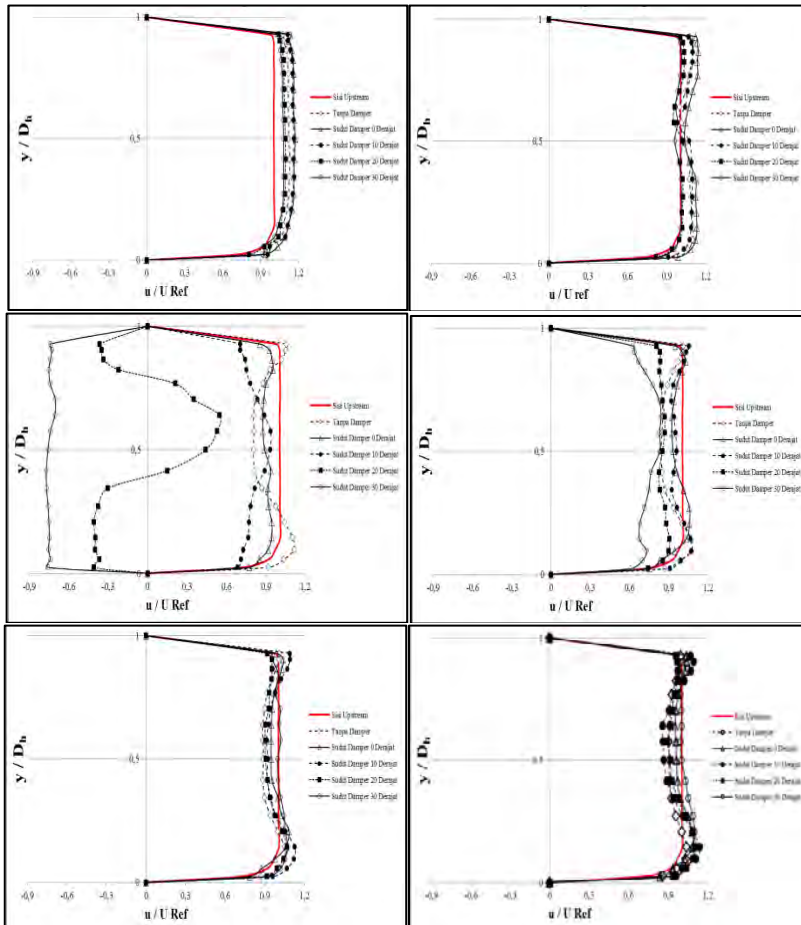
Lampiran 1. Profil Kecepatan Bidang Horizontal pada $Re_{Dh}=7,88 \times 10^4$

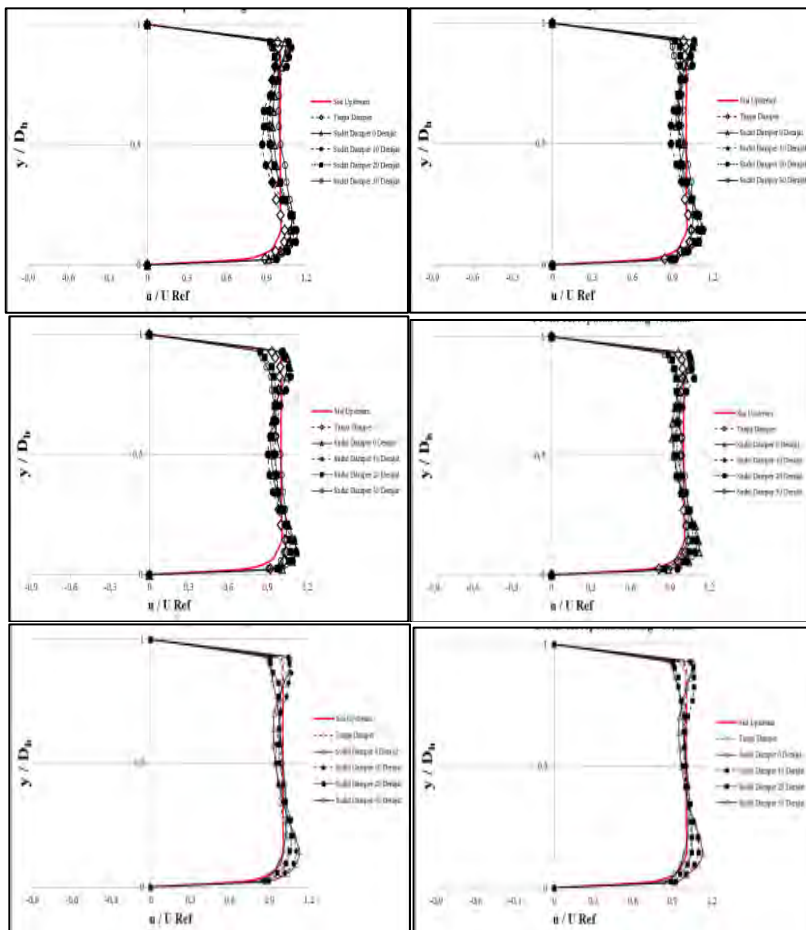


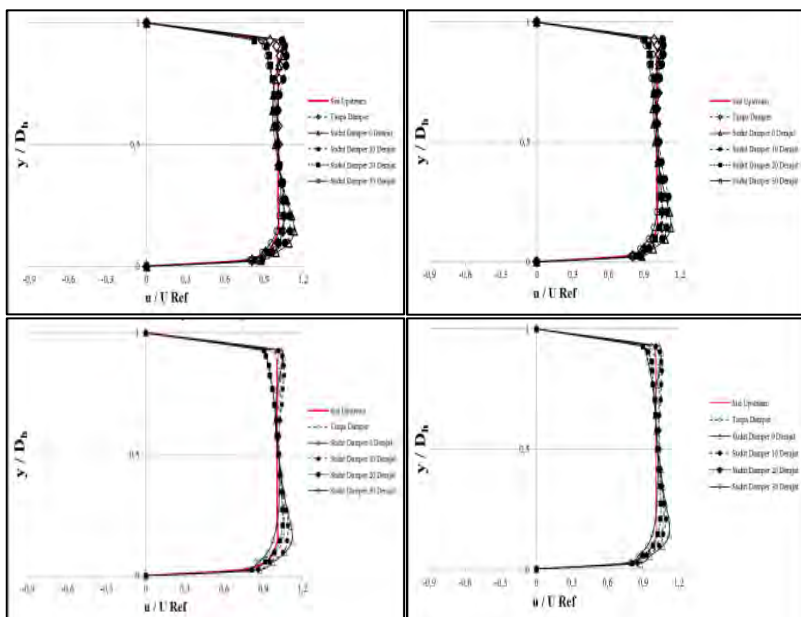




Lampiran 2. P rofil Kecepatan Bidang Vertikal pada $Re_{Dh}=7,88 \times 10^4$









BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian yang telah dibahas pada bab analisa dan pembahasan dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya perlambatan aliran di daerah sesaat sebelum dan sesudah melalui *damper* untuk semua variasi sudut pada pengambilan profil kecepatan horizontal dan vertikal, hal ini disebabkan adanya *blockage effect* akibat terbentuknya aliran sekunder pada sisi *inner* dekat dinding, daerah ini memiliki momentum yang lebih rendah daripada sisi *outer* dekat dinding.
2. Pembentukan *backflow* akibat adanya daerah separasi terjadi pada saluran tanpa damper, sudut bukaan *damper* 0° , 10° , 20° dan 30° pada sisi *inner outlet elbow* 90° . *Backflow* pada sisi *inner outlet elbow* 90° tertinggi terjadi pada saluran tanpa *damper* dan nilai *backflow* pada sisi *inner outlet elbow* 90° terendah terjadi pada saluran yang menggunakan *damper* sudut bukaan 30° .
3. Pada variasi sudut bukaan *damper* 30° memiliki variasi range kecepatan yang paling tinggi, hal ini disebabkan penyempitan luas penampang di daerah setelah *damper* yang menyebabkan terjadi percepatan aliran pada daerah tersebut.
4. Sudut bukaan *damper* 30° merupakan sudut yang paling efektif untuk mempercepat proses *recovery* aliran dan menanggulangi timbulnya aliran sekunder. Proses *recovery* aliran pada sudut bukaan damper 30° lebih cepat jika di banding variasi tanpa damper, sudut bukaan damper 0° , 10° , dan 20° yang terjadi setelah jarak $16D_h$ dari *outlet elbow* 90° .
5. Penempatan *damper* sebagai bodi pengganggu menghasilkan nilai *pressure drop* yang lebih besar dengan semakin meningkatnya *Reynolds number* pada setiap sudut



- bukaan *damper*. Pada sudut bukaan *damper* 0° memiliki *pressure drop* paling rendah dengan persentase kenaikan sebesar 18,76% pada setiap variasi *Reynolds number*, sedangkan pada sudut bukaan *damper* 30° memiliki *pressure drop* paling tinggi dengan persentase kenaikan sebesar 12,24% pada setiap variasi *Reynolds number*.
6. Pemasangan *elbow* 90° akan mengakibatkan *koefisien losses* pada saluran. *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$ memiliki nilai *koefisien losses* paling tinggi dengan persentase kenaikan 11,95% pada setiap variasi sudut bukaan *damper*, sedangkan pada *Reynolds number* $9,46 \times 10^4$ memiliki nilai *koefisien losses* paling rendah dengan persentase kenaikan 6,97% pada setiap variasi sudut bukaan *damper*.
 7. *Damper* sebagai bodi pengganggu menghasilkan nilai *koefisien losses* yang lebih besar dengan semakin meningkatnya *Reynolds number* pada setiap sudut bukaan. Pada sudut bukaan *damper* 0° memiliki nilai *koefisien losses* paling rendah dengan persentase kenaikan sebesar 14,03% pada setiap variasi *Reynolds number*, sedangkan pada sudut bukaan *damper* 30° memiliki nilai *koefisien losses* paling tinggi dengan persentase kenaikan sebesar 0,94% pada setiap variasi *Reynolds number*.
 8. Besarnya kecepatan aliran pada saluran juga dapat mempengaruhi nilai *koefisien losses damper*. Dari seluruh variasi *Reynolds number*, pada *Reynolds number* $3,94 \times 10^4$ memiliki nilai *koefisien losses damper* paling rendah dengan persentase kenaikan sebesar 64,71% pada setiap variasi sudut bukaan *damper*, sedangkan pada *Reynolds number* $9,46 \times 10^4$ memiliki nilai *koefisien losses damper* paling tinggi dengan persentase kenaikan sebesar 59,24% pada setiap variasi sudut bukaan *damper*.



5.2 Saran

Adapun saran yang diperlukan untuk kedepannya adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan keakuratan data kuantitatif dan kualitatif yang baik dan akurat pada saat pengambilan data diperlukan peralatan yang berkualitas baik dan akurat. Sehingga pembaruan dan perawatan peralatan harus dilakukan.
2. Kondisi ruangan yang stabil harus dikontrol agar data yang diperoleh baik.
3. Diperlukan adanya kajian eksperimen dengan variasi penempatan *damper* pada jarak D_h dari *outlet elbow 90°*, variasi radius *elbow 90°* dan jumlah *damper* agar dapat dibandingkan hasil eksperimen fenomena aliran yang terjadi dengan pengaruh dari variasi tersebut.



Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR PUSTAKA

1. Cheng, D.Y., 1994. "Laminar Flow Elbow System and Method", **U.S. Patent Documents**, No. 5,323,661.
2. Danbon, F., dan Sollic, C., June 2000. "Aerodynamic Torque of a Butterfly Valve-Influence of an Elbow on the Time-Mean and Instantaneous Aerodynamic Torque.", **ASME Journal of Fluids Engineering**, Vol.122, pp.337-344.
3. Edo, Edgar S.P., 2016. "Simulasi Numerik Aliran Tiga Dimensi Melalui Rectangular Duct dengan Variasi Bukaannya Damper" , **JURNAL TEKNIK ITS**, Vol.4, No.1, (2015) ISSN: 2337-3539.
4. Fox, R.W., Mc Donald, A.T. 1998. **Introduction to Fluid Mechanics, 5th edition**. New York: John Wiley and Sons.
5. Idel'chik, I.E. 1960. **Handbook of Hydraulic Resistance**. Gosudarstvennoe Energeticheskoe Izdatel'stvo : Moskva-Leningrad.
6. Miller, D.S. 1990. **Internal Flow System, 2nd edition**. Bedford: BHRA.
7. Nakayama Y., dan Boucher R.F. 1998. **Introduction to Fluid Mechanics**. Oxford: Butterworth-Heinemann.
8. Rup, K., sarna, P., 2011. "Analysis of Turbulent Flow Through a Square-Sectioned Duct with Installed 90-degree Elbow", **Flow Measurement and Instrumentation** 2011; 22: 383-391.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kediri, 16 Maret 1992 dari pasangan Malik dan Binti Masruroh. Penulis merupakan putra pertama dari dua bersaudara. Sampai usia 24 tahun ini penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari SDN 1 Sidomulyo, SMPN 1 Mojo, SMKN 1 Kediri dan D3 Teknik Mesin FTI ITS Surabaya

Setelah lulus D3 Teknik Mesin tahun 2014, penulis mengikuti ujian masuk lintas jalur S1 ITS dan diterima sebagai mahasiswa di Jurusan S1 Teknik Mesin ITS Surabaya. Penulis pernah cuti kuliah selama 2 semester karena harus mengikuti training center dan lomba pada World Skill Competition 2011 di London, United Kindom.

Dalam mengikuti proses pembelajaran akademik, penulis mengambil bidang konversi energi dan mengambil Tugas Akhir di bidang Mekanika Fluida. Penulis juga aktif dalam keorganisasian yang ada di dalam jurusan S1 Teknik Mesin yaitu sebagai Kepala Divisi Engine Tim ITS Sapuangan Tahun 2013/2014 dan 2014/2015. Penulis juga mengikuti lomba tingkat nasional dan internasional, yaitu IEMC 2013, FSAE JAPAN 2014, IEMC 2014, SEM ASIA 2015, FSAE JAPAN 2015 dan KMHE 2016.